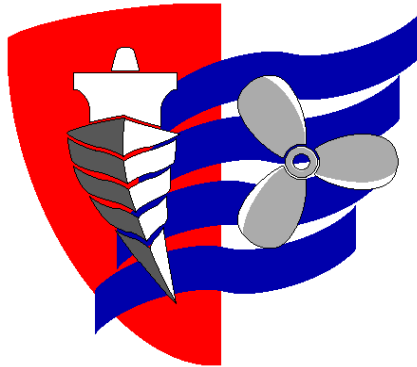


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
SCRUBBERS EN LAZO ABIERTO EN UN
BUQUE RO-RO**

***INSTALLATION OF AN OPEN LOOP
SCRUBBER SYSTEM ON AN RO-RO VESSEL***

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

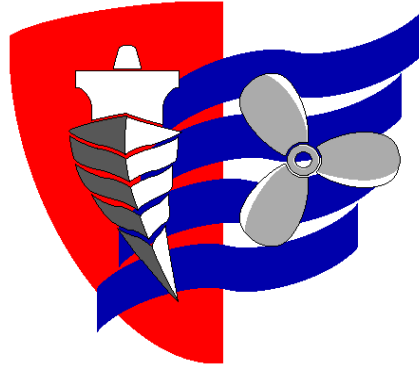
Autor: Víctor Expósito Maleras

Director: M. Alberto Girón Portilla

Septiembre - 2021

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
SCRUBBERS EN LAZO ABIERTO EN UN
BUQUE RO-RO**

***INSTALLATION OF AN OPEN LOOP SCRUBBER
SYSTEM ON AN RO-RO VESSEL***

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Septiembre – 2021

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	8
2.1. PROBLEMÁTICA DEL AZUFRE.	8
2.1.1. <i>Azufre en el combustible.</i>	8
2.1.1.1. Efecto en la salud humana.	11
2.2. NORMATIVA.	12
2.2.1. <i>Anexo VI del MARPOL.</i>	15
2.2.2. <i>El petróleo.</i>	18
2.2.2.1. Obtención del petróleo.	18
2.2.2.2. Refinado del petróleo.....	19
2.2.3. <i>Combustibles marinos.</i>	20
2.2.3.1. Comparativa de precios.	21
2.2.4. <i>GNL como combustible marítimo.</i>	22
2.2.4.1. Conversión de un buque a GNL.	22
2.2.5. <i>Scrubber. Sistema de eliminación de gases de escape.</i>	23
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1. SCRUBBER.	26
3.1.1. <i>Tipo seco.</i>	26
3.1.2. <i>Lazo abierto.</i>	27
3.1.2.1. Funcionamiento.	29
3.1.3. <i>Lazo cerrado.</i>	31
3.1.3.1. Funcionamiento.	31
3.1.4. <i>Tipo mixto.</i>	34
3.1.4.1. Humedad de los gases finales.	34
3.1.4.2. Cualidades del agua de scrubber.	35
3.1.5. <i>Legalidad de los sistemas de scrubbers.</i>	35
3.1.5.1. Plan A.	36
3.1.5.2. Plan B.	38
3.1.6. <i>Monitorización de las emisiones.</i>	39
3.1.6.1. Valor de pH en la descarga.....	40
3.1.6.2. HAP.....	41
3.1.6.3. Medición de turbidez.	42
3.1.6.4. Nitratos.	42
3.2. INSTALACIÓN EN UN BUQUE DE CARGA RODADA.	44
3.2.1. <i>El buque por transformar.</i>	44
3.2.2. <i>Organigrama de la transformación.</i>	47
3.2.2.1. Trabajos previos a la llegada del barco.	48
3.2.2.2. Prefabricación.	50
3.2.3. <i>Instalación de las scrubbers en el JM Entrecanales.</i>	52
3.2.3.1. Realización de trabajos en el guarda calor.....	53
3.2.3.2. Instalación de plataformas de acceso y sensores.	56
3.2.3.3. Aislamiento de la zona del guarda calor.	57
3.2.3.4. Zonas de trabajo y equipos.	57
3.2.4. <i>Situaciones de trabajo de los motores.</i>	72
4. PRESUPUESTO.	74
4.1. PRESUPUESTO EN PARTIDAS.	74
4.2. BALANCE FINAL DEL PRESUPUESTO.	78
5. CONCLUSIONES	79

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
6.1. TRABAJOS UNIVERSITARIOS.....	81
6.2. SITIOS WEB.....	81

RESUMEN

Este trabajo trata sobre la problemática que tienen los buques a la hora de reducir al mínimo posible la contaminación atmosférica debido a los gases de escape de los motores.

Se detallarán las normativas, los efectos y los tipos de combustibles, además de los tipos de sistemas de lavado de esos gases.

Tras esto, se centrará en la instalación de unas torres de lavado de gases de escape en lazo abierto en un buque de carga rodada que se realizó en el verano del 2020 en Astander. Se explican los equipos a instalar, los materiales de uso, el organigrama a seguir, los trabajos previos a la llegada, las zonas de trabajo y una vez finalizado el trabajo las situaciones de trabajo que tendrá el sistema.

SUMMARY

This work deals with the problems that ships have when it comes to reducing atmospheric pollution due to engine exhaust gases to a minimum.

The regulations, effects and types of fuels will be detailed, as well as the types of scrubbing systems for those gases.

After this, it will focus on the installation of open loop exhaust gas scrubbing towers on a ro-ro cargo ship that was carried out in the summer of 2020 in Astander. The equipment to be installed, the materials for use, the organization chart to be followed, the work prior to arrival, the work areas and once the work is finished, the work situations that the system will have are explained.

PALABRAS CLAVE

Scrubber, Azufre, petróleo, Astillero, Transformación, MARPOL.

KEY WORDS

Scrubber, Sulfur, fuel, Shipyard, Conversion, MARPOL.

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto final de carrera se ha estudiado la problemática de la presencia del azufre en el origen de los combustibles marinos, así como sus consecuencias por las reacciones que se llevan a cabo en la combustión, que dan lugar a emisiones de óxidos de azufre perjudiciales para la atmósfera.

Para alcanzar el cumplimiento de las nuevas normas impuestas por la OMI en el anexo VI del MARPOL aprobado el 19 de marzo de 2005, las empresas navieras que fueran a realizar viajes por las zonas SECAs (Sulphur Emission Control Areas), deberían de cumplir con un límite de emisiones de gases de efecto invernadero. La gran parte de los barcos viejos no cumplen con esta medida, por lo que deben de realizar modificaciones. Para conseguir alcanzar el visto bueno de la OMI, ante esta medida hay tres tipos de soluciones:

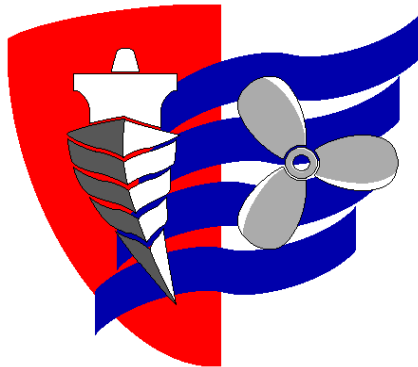
- Conversión del buque a GNL.
- Utilización de combustibles de bajo contenido de azufre.
- Instalación de scrubbers.

Avanzado el proyecto se ha centrado el estudio en los sistemas de limpieza de gases de escape de los buques, una vez producidos los óxidos de azufre, haciendo una descripción de los distintos tipos de sistemas, secos y húmedos.

Tras esto, se ha tratado la instalación de un sistema de scrubbers en un buque mercante RO-RO que actualmente está operando con un combustible de alto contenido en azufre. Una vez obtenidos los resultados del diseño de la instalación y su situación en el buque se ha analizado su viabilidad técnica.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2.1. Problemática del azufre.

Los óxidos de azufre, SO_x, emitidos, entre los que se encuentran el dióxido de azufre, SO₂, y el trióxido de azufre, SO₃, son debidos al contenido en azufre del combustible. Durante la combustión del combustible con contenido en azufre, éste se oxida rápidamente dando lugar a la formación de SO₂. Y una pequeña parte del dióxido de azufre del 3-5%, puede además oxidarse, entre la cámara de combustión y el conducto de escape como trióxido de azufre, SO₃.

La temperatura de combustión y la presión del exceso de aire y del contenido de azufre determinan las emisiones reales. La presencia de óxidos de hierro y vanadio actúan como catalizadores. En los gases de escape, reaccionan el SO₃ y el vapor de agua que forma el ácido sulfúrico (H₂SO₄). Al superar los 450° C el ácido sulfúrico (H₂SO₄) se disociará casi por completo, pero cuando la temperatura va disminuyendo, incrementará la cantidad presente como vapor ácido que se enfría y se expone sobre superficies frías, condensándose y llegando al punto de rocío.

2.1.1. Azufre en el combustible.

El azufre es un elemento natural que está presente en el petróleo crudo. Todos los combustibles que se obtienen del petróleo pueden variar la cantidad de azufre dependiendo el tipo de crudo que sea. Los combustibles pesados normalmente tienen un alto contenido de azufre.

Este contenido de azufre en el combustible afecta a los motores diésel de dos maneras. La primera y más restrictiva es la emisión de SO_x de los gases producidos en la combustión que afecta ambientalmente y la segunda afecta de forma directa a las partes de los motores.

La preocupación por controlar y reducir la contaminación que provocan los motores diésel ha ido en aumento en las últimas décadas. Para poder llevarlo a cabo la Organización Marítima Internacional (IMO) y la Unión Europea (EU) han determinado unos límites para reducir la cantidad de azufre en los combustibles pesados usados en los motores de transporte marítimo.

A consecuencia de esto, el Anexo VI del convenio Marpol 73/78 de la IMO, que a partir

de mayo del año 2006 se hizo efectivo, acepta de manera global en 4,5% el límite de contenido de azufre en el combustible y para áreas SECAS como el Mar Báltico y Mar del Norte el contenido permitido es de 1,5 %, intentando así reducir la formación de SOx “óxidos sulfurosos”.

Respondiendo a la pregunta de cómo afecta el azufre a las distintas partes del motor, se puede decir que una gran cantidad de azufre en el combustible puede ser considerado como un problema importante y silencioso para los motores de combustión interna.

Cuando el diésel con azufre se consume en la cámara de combustión, se forman óxidos de azufre que reaccionan con el vapor de agua para formar el ácido sulfúrico. De la misma manera que el sulfuro de hidrógeno, si los vapores de ácidos se condensan, perjudican químicamente las superficies de metal de las válvulas, de las camisas de los cilindros y pueden afectar los cojinetes. Poniendo como ejemplo las camisas de los cilindros, cuando la temperatura de estas es más baja que la temperatura de rociado del ácido sulfúrico, y la reserva de alcalinidad (número básico) del aceite de lubricación no sea suficiente para neutralizar el ácido, las camisas se pueden desgastar diez veces más rápido.

La potencia del motor no se verá afectada, habrá pocos cambios, debido a ños daños producidos por la presencia de azufre en el combustible. Lo que sí va a afectar ese n el desgaste corrosivo que producirá un consume excesivo de aceite y unos escapes de gases, provocando así unos daños prematuros al motor.

Un contenido elevado de azufre en el combustible produce:

- Desgaste corrosivo en las zonas de baja temperatura de los pistones y camisas de cilindros. El azufre contenido en el combustible produce la formación la H_2SO_4 en las zonas subenfriadas de las camisas de cilindros.
- La creciente presión de trabajo de los motores actuales facilita que se alcance el punto de rocío de las especies corrosivas que no pueden ser neutralizadas por la reserva alcalina del aceite de lubricación.
- Deposición de lacas negras en las zonas internas de las camisas de cilindros.
- Desgaste corrosivo por alta temperatura en las válvulas de escape, asientos de válvulas y zonas del pistón directamente expuestas a la combustión.

Un contenido bajo de azufre en el combustible nos proporciona:

- Menos emisiones de SO₂ con los gases de escape.
- Menos corrosión en frío en las zonas del circuito de gases de escape con temperaturas menores a los 150° C (conductos y chimeneas), debido a la menor condensación de ácido sulfúrico como consecuencia de la menor presencia de SO₂ y SO₃.
- Al haberse formado los compuestos ácidos dentro del cilindro la manera de combatir su efecto corrosivo es mediante el correcto uso de lubricantes con una adecuada base alcalina (número básico), que se corresponda con el % de azufre contenido en el combustible.
- El valor de la base alcalina (número básico) no es el único criterio de la capacidad del lubricante, pero sí representa la forma más correcta para salvar al motor del desgaste corrosivo. El lubricante debe poseer suficiente número básico en todo momento y nunca se debe permitir que disminuya por debajo del mínimo requerido, de acuerdo al % de azufre del combustible utilizado.

5 ventajas de la reducción del azufre en los combustibles de los buques que promueve la OMI:

- Aire más limpio: Un descenso del 77% en el total de emisiones de óxidos de azufre procedentes de los buques, lo que supone una reducción anual de aproximadamente 8,5 millones de toneladas métricas de óxidos de azufre.
- Efectos positivos en la salud humana: Se reducirán las muertes prematuras, las enfermedades cardiovasculares, respiratorias y pulmonares.
- Combustibles de mayor calidad: Para cumplir con el límite, la mayoría de los buques empezarán a utilizar combustibles de mayor calidad y bajo contenido en azufre.
- Los armadores, propietarios y refinerías ya se han adaptado: La OMI y otras partes interesadas han publicado material de orientación para reforzar la preparación antes de la entrada en vigor de la medida.
- Cambios en las autoridades encargadas del cumplimiento: Los estados rectores del puerto y los estados de abanderamiento se asegurarán de que los buques cumplen la regla.

2.1.1.1. Efecto en la salud humana.

El dióxido de azufre (SO₂) está regulado a causa de su efecto sobre la salud y los ecosistemas.

La contaminación producida por este elemento puede llegar incluso a grandes distancias del foco emisor, y puede generar efectos adversos sobre la salud humana (tales como irritación e inflamación del sistema respiratorio, afecciones e insuficiencias pulmonares, alteración del metabolismo de las proteínas, dolor de cabeza o ansiedad), sobre la biodiversidad, los suelos y los ecosistemas acuáticos y forestales (puede ocasionar daños a la vegetación, degradación de la clorofila, reducción de la fotosíntesis y la consiguiente pérdida de especies) e incluso sobre las construcciones, a través de procesos de acidificación, pues al emitirse, reacciona con el vapor de agua y con otros elementos de la atmósfera, de modo que su oxidación en el aire da lugar a la formación de ácido sulfúrico.

Además, también actúa como precursor de la formación de sulfato amónico, lo que incrementa los niveles de PM₁₀ y PM_{2,5}, con graves consecuencias igualmente sobre la salud.

La limitación de emisiones de SO_x de los buques reduce la contaminación y provoca un medio ambiente más limpio. Al reducir los óxidos de azufre, también se reducen materias particuladas, que son pequeñas partículas nocivas que se forman cuando se quema el combustible.

El Comité de protección del medio marino (MEPC) hizo un estudio sobre los efectos en la salud humana de las emisiones de óxidos de azufre procedentes de los buques, estimó que, si no se reducen los límites de óxidos de azufre procedentes de los buques en 2020, la contaminación atmosférica de los buques contribuiría a más de 570.000 muertes prematuras en todo el mundo en el periodo de 2020 a 2025.

2.2. Normativa.

La contaminación producida por los buques es debida a un proceso acumulativo que contribuye a los problemas generales de la calidad del aire a la que se enfrentan muchas regiones, y que también lo sufre la naturaleza, claro ejemplo de esto son las lluvias ácidas.

En el Anexo VI del Convenio MARPOL, adoptado en 1997, se prohíben las sustancias más contaminantes para la atmósfera que forman parte de los gases de escape de los buques, para ser más concretos son los óxidos de azufre (SOx) y los óxidos de nitrógeno (NOx), y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que dañan la capa de ozono. En este Anexo también se regula la eliminación a bordo mediante incineración, así como las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) procedentes de los buques tanque.

Nada más aceptarse y entrado en vigor el Anexo VI del Convenio MARPOL el 19 de mayo de 2005, el Comité de protección del medio marino (MEPC), acordó revisarlo con el objeto de disminuir de forma sensible las emisiones máximas mediante las mejoras tecnológicas existentes y la experiencia adquirida a través de la implantación. Tras tres años de pruebas, el MEPC 58, en octubre de 2008, adoptó el Anexo VI revisado del Convenio MARPOL y el Código técnico conexo sobre los NO_x 2008, que entraron en vigor el 1 de julio de 2010.

La mayoría de las emisiones de NO_x, SO_x y partículas en las zonas marítimas de la UE son emitidas por buques de carga superior a 500 TRB y aproximadamente el 20% de las emisiones se emiten dentro de las 12 millas de mar territorial. Es importante tener en cuenta que las emisiones procedentes de los buques pueden viajar cientos de kilómetros y por tanto, pueden contribuir a problemas de calidad del aire incluso en zonas de ciudades y/o tierras que no tengan acceso a la costa. Esto es relevante por la deposición de los compuestos de azufre y nitrógeno que causan la acidificación de los ecosistemas naturales y amenazan a la biodiversidad.

Diversos estudios indican que, con ausencia de políticas, las emisiones de los buques a fecha de 2050 podrían crecer en un 150% desde la fecha de hoy, como resultado del aumento del transporte marítimo.

Por ello, la entrada en vigor del Anexo VI del Convenio MARPOL de la OMI el 19 de Mayo 2005 fue un paso muy significativo para el inicio del cuidado del medio ambiente a nivel mundial por parte de las emisiones provenientes del transporte marítimo.

En el marco del Anexo VI, revisado, del Convenio MARPOL, el límite máximo del contenido de azufre a nivel mundial se reducirá del 3,50% al 0,50%, con efectos a partir del 1 de enero de 2020.

El cumplimiento de los requisitos establecidos en el Anexo VI se indica mediante la emisión de un Certificado de Prevención de Contaminación Atmosférica (IAPP) para los buques de arqueo bruto igual o superior a 400 GT y para plataformas y buques de perforación que viajen internacionalmente. Para los buques de 400 GT o más, se requiere la emisión de un Certificado Internacional de Eficiencia Energética (IEE). Para los buques de menos de 400 GT se deben desarrollar las medidas apropiadas por la Administración a fin de demostrar el cumplimiento necesario.

Los controles del Anexo VI regulan lo siguiente:

- Sustancias nocivas para el ozono liberadas de los sistemas de refrigeración y equipos de extinción de incendios. También se encuentran en algunos tipos de espumas de aislamiento.
- Emisiones de NO_x de la combustión de motores diésel.
- Emisiones de SO_x y partículas volátiles de la combustión de carburantes que contienen azufre.
- Componentes orgánicos volátiles, vapores de hidrocarburo desplazados de los tanques de carga de los buques.
- Incineración a bordo.
- Calidad del combustible en la medida en que está relacionada con una serie de problemas que afectan a la calidad del aire.

El contenido de azufre de todo fuel-oil utilizado a bordo de los buques no excederá los siguientes límites:

1. 4,50% masa/masa antes del 1 de enero de 2012.
2. 3,50% masa/masa el 1 de enero de 2012 y posteriormente.
3. 0,50% masa/masa el 1 de enero de 2020 y posteriormente.

El contenido medio de azufre a escala mundial del fuel-oil residual suministrado para uso a bordo de los buques se vigilará teniendo en cuenta las directrices elaboradas por la Organización.

- Prescripciones aplicables en las zonas de control de emisiones.

Las zonas de control de emisiones:

1. La zona del mar Báltico y la zona del mar del Norte.
2. Cualquier zona marítima incluidas las portuarias designadas por la Organización.

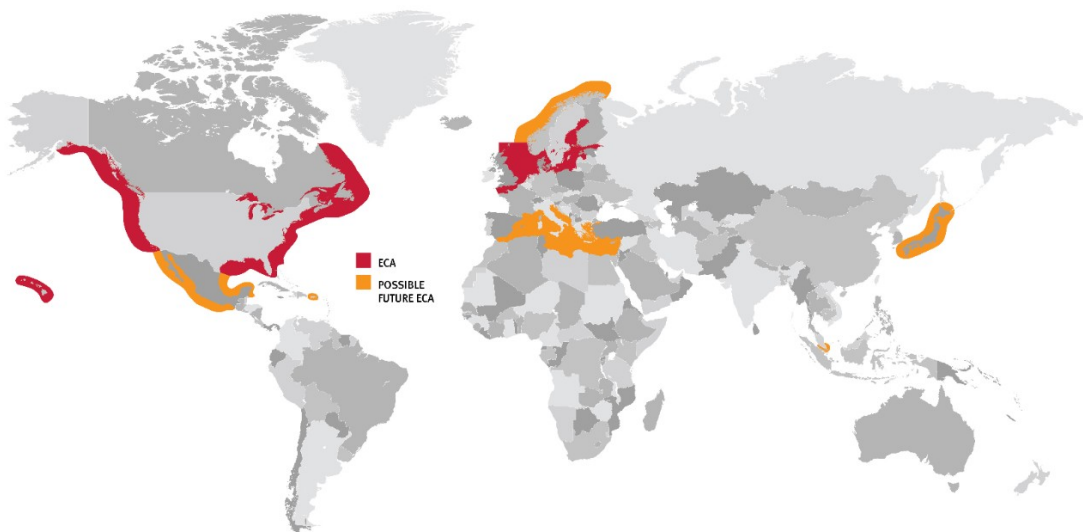


Ilustración 1: Zona de control de emisiones.
Fuente: www.ingenieromarino.com

Cuando los buques naveguen en estas zonas de control, la cantidad de azufre en el fuel-oil no superará los siguientes límites:

1. 1,50% antes del 1 de julio de 2010.
2. 1,00% el 1 de julio de 2010 y posteriormente.
3. 0,10% el 1 de julio de 2015 y posteriormente.

La Organización Marítima Internacional (OMI) fue estableciendo unos límites más estrictos para el contenido de azufre en los combustibles marinos. Con su entrada en vigor el 19 de Mayo de 2005, del Anexo VI de MARPOL se comenzó la limitación del contenido en azufre en los combustibles a nivel general al 4,5% en masa y en las zonas de Control de Emisiones de Azufre (ECA de SO_x – SECA) se permitía hasta un 1,5% de azufre en masa que en esa época solamente incluía al Mar Báltico debido a que era

una región bajo el riesgo de acidificación. La acidificación es el descenso de pH que causa la absorción del CO₂ producido por los seres vivos. Aunque en las enmiendas de 2005 de este Anexo VI se señala la zona del Mar del Norte como nueva zona de control de las emisiones de SO_x, que entraría en vigor el 22 de Noviembre de 2006.

Las zonas ECA que hay establecidas son las siguientes:

- ✓ Para el control de NO_x (TIER III – Previsto para ser aplicado en los barcos contruidos después del 1 de enero de 2020 operando en las zonas designadas como ECA):
 1. Zona de Norte América (desde Agosto 2012): Alrededor de 200 millas de la línea de costa de EEUU, contando Hawai, y Canadá junto con el territorio de las aguas de Saint Pierre et Miquelon.
 2. Áreas del Mar Caribe de EEUU: Desde 1 de Enero 2014.

En la sesión anterior del MEPC, en abril del año 2014, se llegó al acuerdo de posponer los límites internacionales de las emisiones de NO_x del 2016 al 2021. Pero en las últimas enmiendas se incluye mantener la fecha inicial de aplicación, 2016, para las zonas de Norte América y Mar de Caribe de EEUU que ya están designadas como NECAs.

- ✓ Para el control de SO_x y partículas:
 1. Zona del Mar Báltico: Anexo I MARPOL.
 2. Zona del Mar del Norte: Anexo V MARPOL.
 3. Zona de Norte América: Apéndice VII del Anexo VI MARPOL.
 4. Zona del Mar Caribe de EEUU.

2.2.1. Anexo VI del MARPOL.

En el Anexo VI del Convenio MARPOL, en el año 1997 se restringen en particular los gases de escape del buque, en especial los óxidos de azufre (SO_x) y los óxidos de nitrógeno (NO_x).

De esta manera se regulan las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), además de la incineración a bordo.

El 19 de mayo de 2005, entró en vigor, el Anexo VI del Convenio MARPOL. El Comité de protección del medio marino (MEPC) lo estuvo revisando con el objetivo de reducir los límites máximos de emisión de gases contaminantes a partir de las mejoras tecnológicas existentes.

En octubre del 2008, el MEPC, adoptó el Anexo VI del Convenio MARPOL y el Código técnico sobre los NOx.

“Anexo VI, revisado, del Convenio MARPOL

Los principales cambios en el Anexo VI del Convenio MARPOL son la reducción progresiva de las emisiones de SOx, NOx y materia particulada a nivel mundial y la creación de las zonas de control de las emisiones (ECA) con el fin de reducir aún más las emisiones de contaminantes atmosféricos en las zonas marítimas designadas.

En el marco del Anexo VI, revisado, del Convenio MARPOL, el límite máximo del contenido de azufre a nivel mundial se reducirá del actual 3,50% al 0,50%, con efectos a partir del 1 de enero de 2020, y con sujeción a un estudio de viabilidad que habrá de ultimarse a más tardar en 2018.

El MEPC 70 (celebrado en octubre de 2016) examinó una evaluación de la disponibilidad de fueloil para informar de la decisión que deben adoptar las Partes en el Anexo VI del Convenio MARPOL, y decidió que la norma de fueloil (el límite de 0,50% de contenido de azufre) deberán entrar en vigor el 1 de enero de 2020.

Los límites de SOx y materia particulada aplicables a las zonas marítimas designadas se redujeron, a partir del 1 de enero de 2015, a 0,10%.

También se incluye la reducción progresiva de las emisiones de NOx de los motores diésel marinos instalados en buques, con un límite de emisión del "Nivel II" para los motores instalados en buques construidos el 1 de enero de 2011, o posteriormente, y un límite de emisión más estricto correspondiente al "Nivel III" para los motores instalados en buques construidos el 1 de enero 2016, o posteriormente, que naveguen en las ECA (zona de control de las emisiones de Norteamérica y zona de control de las emisiones del mar Caribe de los Estados Unidos). Los motores diésel marinos instalados en buques

construidos el 1 de enero 1990, o posteriormente, pero antes del 1 de enero de 2000, deberán cumplir con los límites de emisión del "Nivel I" en caso de que una Administración haya certificado un método aprobado para ese motor.

El Código Técnico sobre los Nox, revisado, de 2008 incluye un nuevo capítulo que se basa en el planeamiento acordado para la regla de los motores existentes (anteriores a 2000), recogida en las disposiciones del Anexo VI del Convenio MARPOL, en virtud de las cuales se establece un método directo de medición y vigilancia, un procedimiento de certificación para los motores existentes y los ciclos de ensayo que han de aplicarse a los motores de nivel II y nivel III.

El MEPC 66 (abril de 2014), adoptó una serie de enmiendas a la regla 13 del Anexo VI del Convenio MARPOL con respecto a la fecha consignada en las normas relativas a los límites de emisión de NOx correspondientes al nivel III.

En las enmiendas se prevé que las normas relativas a los límites de emisión de NOx correspondientes al nivel III se aplicarán a un motor diésel marino instalado en un buque construido el 1 de enero de 2016, o posteriormente, que navegue en las zonas de control de las emisiones de Norteamérica o del mar Caribe de los Estados Unidos que están designadas para el control de las emisiones de NOx.

Además, las prescripciones correspondientes al nivel III se aplicarán a los motores diésel marinos instalados cuando naveguen en las zonas de control de las emisiones que puedan designarse en el futuro para el control de los NOx del nivel III. El nivel III se aplicaría a los buques que han sido construidos en la fecha de adopción de dicha zona de control de emisiones por el Comité de protección del medio marino, o posteriormente, o en una fecha posterior que se especifique en la enmienda mediante la cual se designe la zona de control de las emisiones de NOx del nivel III.

Además, las prescripciones propias del nivel III no se aplican a un motor diésel marino instalado en un buque construido antes del 1 de enero 2021, de arqueado bruto inferior a 500 toneladas, de eslora igual o superior a 24 metros, que ha sido específicamente proyectado, y se utiliza exclusivamente, para fines recreativos

También se efectuaron revisiones de las reglas relativas a las sustancias que agotan la

capa de ozono, los compuestos orgánicos volátiles, la incineración, las instalaciones de recepción y la calidad del fueloil, a las cuales se añadieron reglas sobre la disponibilidad del fueloil.

Se espera que las disposiciones revisadas produzcan un notable beneficio para el medio atmosférico y la salud humana, especialmente para aquellas personas que viven en ciudades portuarias y comunidades costeras.”

Fuente: - www.imo.org/es/

2.2.2. El petróleo.

2.2.2.1. *Obtención del petróleo.*

El petróleo es una sustancia oscura aceitosa a la cual se la denomina hidrocarburo por estar compuesto de hidrógeno y carbono.

La composición del petróleo suele estar comprendida entre los datos siguientes:

Elemento	%
Carbón	84-87
Hidrógeno	11-14
Azufre	0-2
Nitrógeno	0.2

El petróleo puede encontrarse en dos estados, líquido y gaseoso. En estado líquido se le conoce como crudo, y en estado gaseoso se le conoce como gas natural.

Es el resultado de un complejo proceso físico-químico que tiene lugar en el interior de la tierra. Gracias a la presión y las temperaturas elevadas, se produce la descomposición de enormes cantidades de materia orgánica que se convierten en aceite y gas.

Toda la materia orgánica está compuesta por fitoplancton y zooplancton marinos, al igual que por materia vegetal y animal. Todo fue depositado en el pasado en el fondo de los grandes lagos y mares. Además de toda esa materia orgánica se depositó arena, arcillas, limo y otros sedimentos que, arrastrados por los ríos y el viento, todo este conjunto originó rocas o mantos sedimentarios, es decir, formaciones hechas de sedimentos.

Entre los mantos sedimentarios es el lugar en el cual se origina el petróleo y el gas natural. Los procesos de sedimentación y transformación se llevan a cabo durante millones de años.

En un yacimiento que produce petróleo y gas, al gas se le denomina "gas asociado". Cuando el yacimiento sólo tiene gas, lleva el nombre de "gas libre". Otros yacimientos sólo contienen petróleo líquido en condiciones variables de presión y transferencia. Generalmente el petróleo líquido se encuentra acompañado de gas y agua.

2.2.2.2. Refinado del petróleo.

El petróleo llega a las refinerías en su estado natural. Allí se cocina, ya que el petróleo está en crudo, de ahí su nombre.

La refinería es el lugar donde el petróleo crudo se somete a diferentes procesos. El primero es la separación física o destilación y luego procesos químicos que consiguen extraer gran variedad de componentes que contiene el propio crudo.

Del petróleo se pueden sacar una variedad amplia de productos, por ello el petróleo se puede clasificar en cuatro tipos: nafténico, parafínico, aromático y asfáltico o mixto. De las refinerías se sacan derivados del petróleo, que son dos tipos: combustibles (gasolina, ACPM...) y petroquímicos (polietileno, benceno...).

La primera parte del refinado se realiza en las torres de destilación primaria o atmosférica. En ellas se trabaja a una presión cercana a la atmosférica. Estas torres están divididas en compartimentos. Cada compartimento tiene una temperatura y realizan el fraccionamiento del petróleo.

El petróleo en crudo llega a las torres tras pasar por un horno en el cual se cocina a unas temperaturas de 400 grados para convertirlo en vapor. Al estar en estado de vapor entra por la parte baja de las torres de destilación y va ascendiendo por los compartimentos o bandejas. Al ascender van disminuyendo la temperatura y enfriándose. Cuando cada elemento encuentra su temperatura se condensa y cae en su bandeja y se recogen.

En la base de la torre se deposita el crudo reducido, aquel que no evaporó en la primera etapa. Así se cumple la primera etapa de la refinación. De esta etapa no solo se ha obtenido el crudo, sino también lo siguiente, de abajo hacia arriba: gasóleo, ACPM, queroseno, turbosina, nafta y gases ricos en propano y butano. Algunos ya son

productos finales como el queroseno, turbosina y ACPM.

El resto de los productos se mandan a las otras torres para someterlos a los siguientes procesos para, finalmente, obtener los derivados del petróleo. El crudo reducido llega a la torre de destilación al vacío y saca gasóleo pesado, bases parafínicas y residuos. La unidad de cracking recibe gasóleos y crudos reducidos para generar gasolina y gas propano. La unidad de recuperación de vapores recibe gases de las demás plantas y consiguen gas combustible, propano, propileno y butano. La planta de mezclas recibe las naftas para producir gasolina motor, extra y corriente. La unidad de aromáticos produce tolueno, xileno, benceno, ciclobexano y petroquímicos a través de naftas. También, en las refinerías se obtienen azufre y combustóleo, que es lo último que se saca del petróleo, el fondo del barril.

El principal producto que se consigue de las refinerías es gasolina motor. De cada barril de petróleo que llega a una refinería se consigue de gasolina un 40/50%. El gas natural también se puede procesar en las refinerías.

2.2.3. Combustibles marinos.

Tras refinar el petróleo se consiguen distintos tipos de combustibles, entre ellos los que nos interesan, los combustibles marinos. Estos combustibles se obtienen gracias a una mezcla homogénea de hidrocarburos del petróleo refinado. Con la finalidad de mejorar sus características se le añaden pequeñas cantidades de aditivos. Se pueden dividir los combustibles obtenidos en los que cumplen el límite de azufre y los que no:

- Marine Fuel Oil (MFO) y Light Marine Fuel Oil (LMFO).

Son denominados aceites pesados, compuestos por aceites residuales. Dependiendo de su viscosidad se clasifican. Estos aceites contienen vanadio para evitar que se creen algún compuesto como el pentóxido de vanadio que es el que provoca corrosión en el motor. El Light Marine Fuel Oil contiene menor cantidad de azufre en su composición que el Marine Fuel Oil.

Es el combustible que se utiliza en los motores marinos, además de los motores principales también en las calderas que alimentan de vapor las turbinas.

- Marine Gas Oil.

Es un combustible hidrocarburo líquido. Es bajo contenido en azufre y es un destilado puro. Posee aditivos para mejorar el flujo, para así poder trabajar a la temperatura ambiente más baja, de tal manera que no obstruya filtros o sistemas de inyección. Contiene una cantidad adecuada de carbono que evita la formación de depósitos que disminuyen la eficiencia.

Puede ser utilizado en motores de cuatro tiempos y generadores, además de plantas auxiliares de generación de energía en buques mercantes

- Marine Diesel Oil.

Es una variedad de fuel oil y está compuesto por mezcla de gasoil y fuel oil pesado. Tiene de diferencia con el Marine Gas Oil que los valores de viscosidad, contenido de azufre y densidad, además de tolerancias, son mayores.

Se puede utilizar para motores principales diésel marinos de alta exigencia. Al igual que el Marine Gas Oil se puede usar también para plantas auxiliares de generación de energía.

2.2.3.1. Comparativa de precios.

La diferencia de precios entre los combustibles pesados y los destilados ha ido variando durante todo el tiempo. Dependiendo de las décadas y de las crisis o situaciones que se estén viviendo los precios se acercan o se distancian más.

Pese a que los consumos de los sistemas de propulsión van reduciéndose, el precio del consumo de combustible en cuanto a la explotación que cumpla con las normativas, encarecerá los gastos. Debido a motivos como estos aparecen alternativas como las scrubbers.

Aunque el coste de las scrubbers es elevado en cuanto a su instalación es la opción más rentable para la retención de azufre a bordo.

Otro beneficio del uso de combustibles en bajo contenido en azufre es que los buques que utilicen esos combustibles y no naveguen por zonas exclusivas ECA, se les permitirá navegar por dichas zonas sin necesidad de una instalación adicional.

2.2.4. GNL como combustible marítimo.

A parte de usar combustibles destilados como el Gasoil marino (MGO) o novedades para las emisiones de SOx del transporte marítimo, hay soluciones cambiando a los combustibles alternativos, como es el caso del gas natural licuado (GNL).

Es un combustible fósil, que como hemos visto anteriormente con el petróleo, se encuentra en reservas subterráneas y se produce en plantas especializadas. En comparación con el petróleo, las reservas de gas natural son mayores en todo el mundo y más fáciles de encontrar. Debido a esto, lógicamente, los recursos mundiales de gas natural están mejor que los de petróleo. Este gas puede ser licuado (GNL) o comprimido (GNC). Los principales productores de gas natural en el mundo son Qatar, Irán y Rusia.

El beneficio de trabajar con gas natural es que no se necesitan medidas adicionales de reducción de emisiones para cumplir con las normativas OMI como pasa con los combustibles pesados que se ven obligados a instalar sistemas de limpieza de gases de escape.

El uso de este tipo de combustible garantiza una reducción completa de dióxidos de azufre y partículas, y de un 90% de NOx. Los gases efecto invernadero se reducen en torno al 28% las emisiones de dióxido de carbono en comparación con los combustibles refinados. No todo es bueno, ya que se incluye la emisión del metano que no ha reaccionado en la combustión (desplazamiento del metano), el cual se intenta reducir. Otra ventaja del GNL es que no produce lodos ni humos visibles tras la combustión

Debido a que las normativas en cuanto a salud medioambiental cada vez son más restrictivas y van actualizándose, las empresas van cogiendo gran interés por el GNL como combustible para sus barcos, tanto ferrys RO-RO, guardacostas o suppliers.

El GNL como combustible es la opción más destacada y favorable para superar las restricciones sobre emisiones de óxidos de azufre SOx en el Mar Báltico y Mar del Norte.

2.2.4.1. Conversión de un buque a GNL.

Lo primero que hay que tener en cuenta es que no cualquier tipo de buque puede tener propulsión GNL. Es conveniente para los buques de transporte de corta distancia. Esto es debido principalmente por la falta de infraestructuras en puertos o astilleros que

suministren este combustible, por ello lo mejor es que lo utilicen buques de comercio regular. Por este motivo se han interesado buques de servicio portuario, RO-RO, RO-PAX y buques de alta velocidad.

Una de las cosas que perjudica el uso de GNL en el sector marino es el espacio necesario para almacenar dicho combustible. Esto supondría una pérdida importante de espacio de carga en los buques. Se necesitaría casi el doble de espacio (1,8) que, para el MDO, sin contar el aislamiento de tanques, que ahí aumentaría hasta 2,3.

Los buques de nueva construcción tendrían más fácil encontrar una solución al tema del espacio de almacenamiento del GNL, pero para los buques operativos es mucho más complicado encontrar espacio sin uso tan grande.

2.2.5. Scrubber. Sistema de eliminación de gases de escape.

Otras opciones a tener en cuenta, que no sean el cambio a combustibles destilados, por parte de los armadores que desean cumplir con las normativas del anexo VI sobre la limitación del azufre son usar combustibles de alto contenido en azufre junto a tecnologías que obtienen los niveles “equivalentes” de emisiones, o directamente cambiando a combustibles que no tienen azufre.

Esta última opción del uso de combustibles alternativos llevaría al uso del GNL, y también, el uso de biocombustibles. La primera opción supondría una instalación de una o varias scrubbers en el buque para poder reducir en los gases de escape el contenido de azufre.

Las scrubbers se han utilizado en el sector industrial de tierra desde los años 30. El scrubber, o lavador de gases, son sistemas de depuraciones de emisiones atmosféricas. Básicamente el trabajo de la scrubber es lavar los gases de escape y despojarse de los gases contaminantes (SO_x) para la atmósfera. El scrubber captura los gases y gracias a un líquido los baña, neutralizando de esta manera los componentes contaminantes de los gases. El SO₂ que es absorbido y reacciona con el material alcalino del líquido, formando SO₄. El líquido puede ser algún reactivo químico, agua o mezcla de ambos, dependiendo de las sustancias contaminantes a eliminar. Cuando se trabaja con nitrógeno y se necesita eliminar derivados de este se deben absorber en un medio ácido, pero cuando es con azufre los derivados se eliminan en un medio alcalino u oxidante, Hay otros tipos de contaminantes solubles en agua que no necesitan de ningún reactivo

químico en el proceso de lavado.

La finalidad, sea el medio y el contaminante que sea, es la misma, que el líquido contacte con el gas para separar las moléculas contaminantes de los gases que salen al exterior. Se obtiene de esta manera gases limpios, sin toxicidad alguna y sin perjudicar a la atmósfera.

En un barco, el líquido que más fácil se puede obtener es el agua de mar. Gracias a ser un líquido alcalino es ideal como fluido de scrubbers. Desde los años 60 el agua de mar se lleva usando como fluido para las scrubbers de los gases de escape de las calderas de petroleros y también ahora para las de los buques tanque.

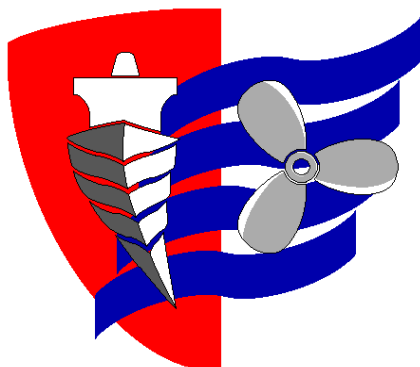
Desde hace 30 años esta tecnología ha ido modificándose para usarla en la limpieza de gases en los motores auxiliares y principales. La reducción de emisiones SOx ha sido de un 90% a lo largo de las pruebas y ensayos.

A la hora de configurar la instalación del buque se diseñan individualmente los sistemas de limpieza de los gases de escape para cada motor auxiliar o principal. Debido a los posibles inconvenientes de espacio a bordo y coste de la instalación se han desarrollado unidades de limpieza de gases de escape (LGE). Estas unidades permitirían abaratar costes y espacio ya que con una sola sería suficiente para los motores auxiliares y para los principales. Otra solución podría ser que como los motores auxiliares suelen usar combustibles destilados y, por tanto, no necesitan un sistema de limpieza de gases de escape, usar dicha unidad LGE para los motores principales.

Todo buque que tenga una instalación de scrubbers a bordo podrá seguir utilizando combustibles con alto contenido en azufre porque cumplirán las normativas con respecto a los gases enviados a la atmósfera.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



METODOLOGIA

3. METODOLOGÍA.

3.1. Scrubber.

Hay dos tipos de diseños de scrubbers para eliminar los óxidos de azufre de los gases de escape. Son los siguientes:

- Sistema seco.
- Sistema húmedo: lazo abierto, cerrado o mixto.

Las scrubbers se componen por:

- Un cilindro o cuba en el cual los gases que salen de los motores o calderas se juntan con el agua de mar.
- Una planta de tratamiento del agua de lavado.
- Un depósito o tanque de lodos.

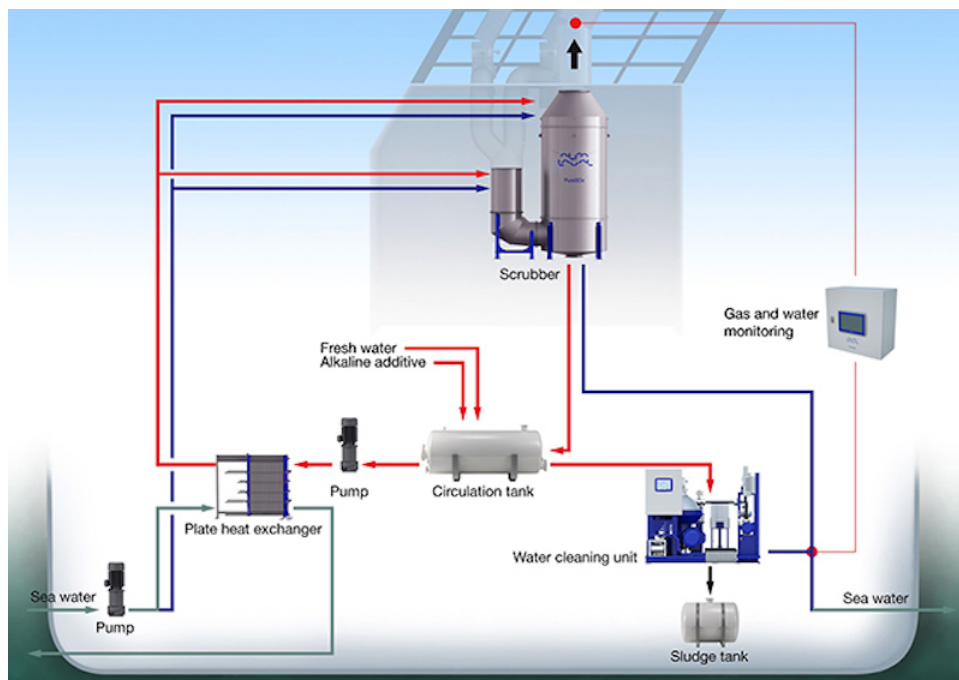


Ilustración 2: Componentes básicos de un scrubber

Fuente: www.puentedemando.com

3.1.1. Tipo seco.

La gran mayoría de scrubbers instaladas en buques son de tipo húmedo, pero existe la posibilidad de que sean de tipo seco. Son scrubbers que pueden eliminar hasta un 99% de las emisiones de azufre.

Como medio de lavado las scrubbers secas utilizan hidróxido de calcio, y cal muerta o

apagada para resultar sulfato de calcio granulado. Gracias al proceso este se eliminan los óxidos de azufre y partículas sólidas, ya que los gases pasan por horizontalmente por el lecho de cal produciendo de esta manera una optimización de la reacción. Esta reacción libera calor de los gases de escape, es exotérmica.

Las ventajas de las scrubbers tipo seco son las siguientes:

- El material que se usa es mucho más manejable y reciclable al ser en forma granulada.
- Prácticamente nulo el consumo energético.
- No se envían contaminantes al mar.
- Elimina tanto los óxidos de azufre como los de nitrógeno sin necesidad de dos instalaciones diferentes una para cada elemento.

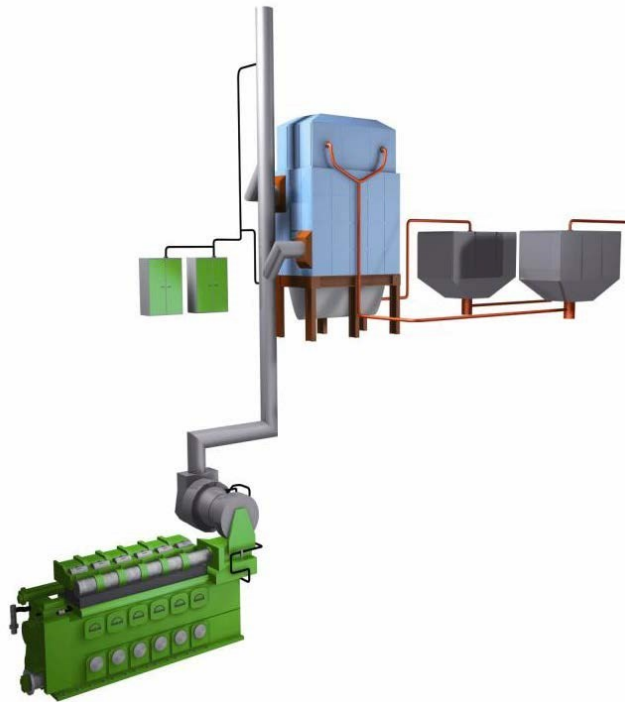


Ilustración 3: Scrubber seco
Fuente: MAN DryEGCS System

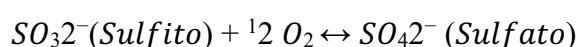
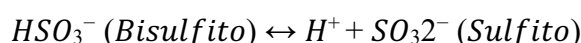
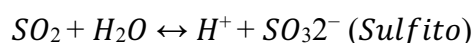
3.1.2. Lazo abierto.

El ciclo de un scrubber de lazo abierto es sencillo. Básicamente el agua que se recoge del mar es usada para lavar los gases de escape y una vez hecho su trabajo vuelve al mar.

Cada vez más países están prohibiendo este tipo de scrubbers que utilizan agua de mar

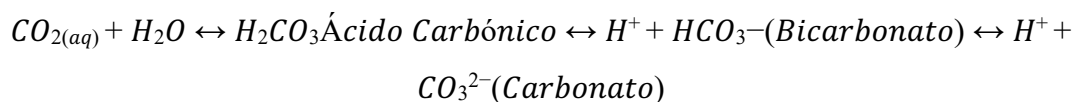
ya que algunos estudios han demostrado que pueden afectar de manera perjudicial a las especies marinas.

Es necesario que los gases de escape se mezclen completamente con el agua de mar para disolver los óxidos de azufre. Cuando estos óxidos de azufre se disuelven en la mezcla, se origina una reacción donde se ioniza el dióxido de azufre en sulfito y bisulfito, después se oxidan en sulfato en agua de mar al contener oxígeno.



Al ionizarse en bisulfito y sulfito se origina un exceso de hidrógeno (H^+), lo que significa que es ácido. De la misma manera que también se produce ácido sulfúrico del trióxido sulfúrico. Esto se neutralizará por el agua de mar o la alcalinidad, relacionada con el bicarbonato que posee. Al neutralizar una parte se disminuye el pH hasta 3.

La neutralización de los ácidos por el agua de mar se describe de la siguiente manera:



Debido a la reacción del carbonato cálcico con el agua con iones libres de hidrógeno, el carbonato cálcico se disuelve y produce iones libres de calcio (Ca^{+2}) y de bicarbonato (HCO_3^-), con los que consumen los iones libres de hidrógeno, aumentando de esta manera el pH. De la misma forma ocurre con el bicarbonato de calcio y el magnesio.

El flujo de agua de lavado de los sistemas de gases de escape está optimizado, de manera que el dióxido de azufre pueda disolverse y hay disponible una capacidad de suministro apropiada para permitir que las emisiones se reduzcan hasta los niveles requeridos. Un flujo escaso de agua de lavado hace que la mezcla o alcalinidad no sea suficiente para conseguir la reducción de SO_2 , sin embargo, un exceso del agua de lavado sería ineficiente en términos de potencia de bombeo y del tamaño y peso de los componentes. Por tanto, en el diseño del sistema de limpieza de gases de escape también se tendrá que considerar la temperatura del agua disponible para el lavado, ya que cuanto más baja es

la temperatura más es la solubilidad de SO_2 .

Los sulfatos son componentes naturales del agua de mar. Son solubles y tienen un largo “tiempo de residencia”, así como tampoco se ven afectados por el pH natural, temperaturas y presiones de los océanos. Se puede decir que el sulfato es conservador como componente del agua de mar, puesto que independientemente de la salinidad total, se produce mezclándose en cualquier océano en la misma proporción que otros constituyentes de estas aguas, como puede ser el sodio. La mayor parte de sulfatos del agua de mar se deriva de las actividades volcánicas y la desgasificación del fondo marino. Además, los sulfatos llegan a los océanos a través del caudal de los ríos, pero la concentración en el agua en mar abierto se mantiene constante, en torno a 2,65 g/l o 20 kg de azufre por tonelada de agua de mar. Por tanto, según estudios y ensayos de campo, se confirma que el aumento de sulfato procedente de los gases de escape será insignificante en comparación con la cantidad que ya hay en los océanos.

3.1.2.1. Funcionamiento.

Las scrubbers de ciclo abierto se basan en las plantas de gas inerte, en las cuales los gases son enfriados y se elimina el agua mediante un elemento secador.

Los gases de escape llegan a la scrubber desde los motores principales y auxiliares por su parte baja, y son pulverizados con agua en dos etapas. Con la propia alcalinidad del agua de mar no van a ser necesarios aditivos para neutralizar los ácidos. Se forma ácido sulfúrico debido a la reacción entre los óxidos de azufre y el agua de mar.

Esta agua es analizada a la entrada y la salida del scrubber para garantizar el cumplimiento de la normativa de descarga al mar y no contaminar el medio marino del MEPC 184 (59).

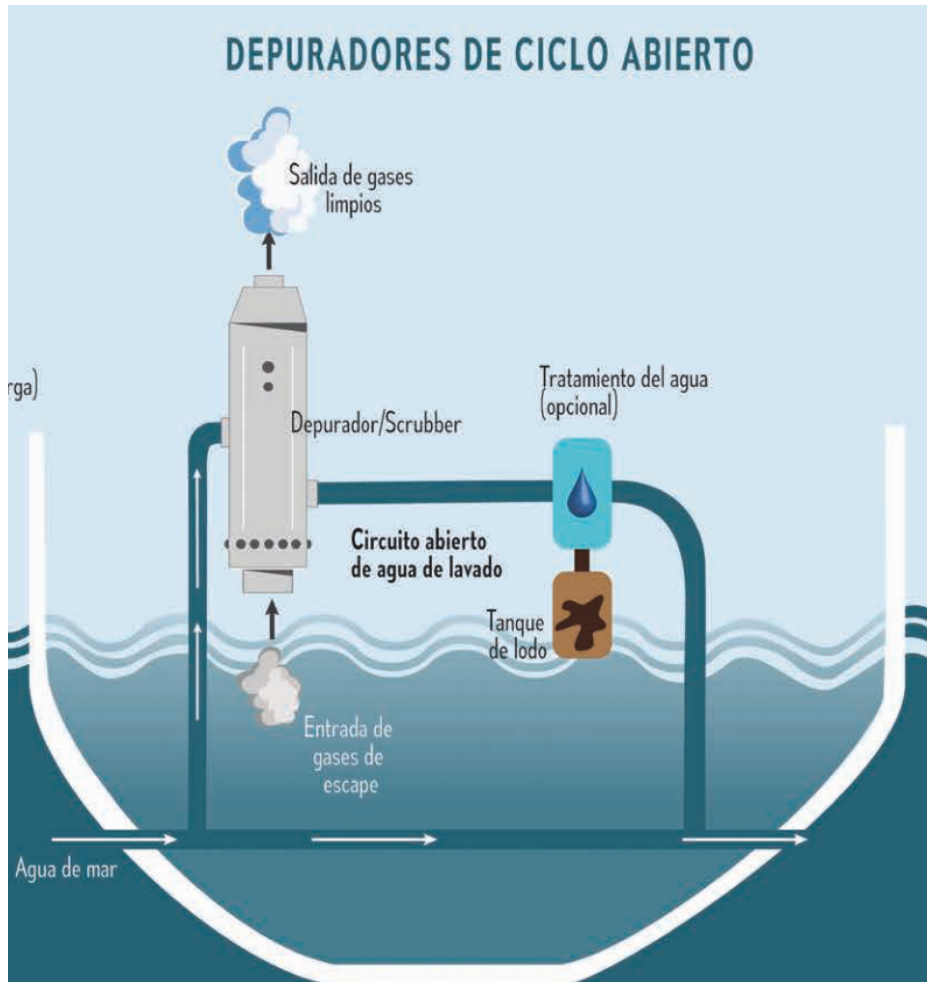


Ilustración 4: Scrubber circuito abierto
Fuente: www.cedinox.es

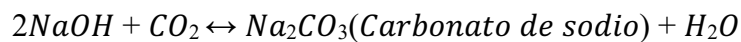
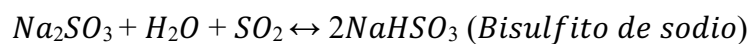
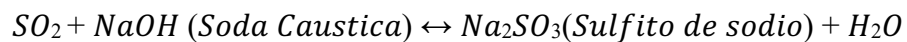
Un scrubber de lazo abierto se compone por lo siguiente:

- Tomas de mar.
- Bombas de agua de mar.
- Unidad Scrubber
- Conducto de salida de gases de escape.
- Ventilador de salida.
- Venturi de la entrada de los gases de escape.
- Tanque de almacenamiento de la descarga del Scrubber.
- Bombas de agua de lavado.
- Unidad que separe los lodos del agua.
- Tanque de lodos.
- Unidad de análisis del agua del Scrubber.
- Unidad de análisis del agua de lavado.

- Bomba de descarga al mar.

3.1.3. Lazo cerrado.

Tipo de scrubber en el que se usa agua dulce tratada con un químico alcalino para neutralizar los óxidos de azufre y eliminarlo, como puede ser la soda caustica. En este ciclo el agua de lavado realiza continuamente el mismo recorrido, añadiéndosele agua dulce adicional por las pérdidas que puedan surgir. Al mismo tiempo una cantidad pequeña se purga a la planta de tratamiento de descarga.



3.1.3.1. *Funcionamiento.*

De la misma manera que en el lazo abierto, el agua de lavado entra al scrubber por la parte baja para rociar los gases de escape. Esta agua ha sido mezclada con soda caustica (NaOH). La mezcla neutraliza los gases al entrar en contacto con ellos. Una vez terminado este proceso esa agua vuelve al principio y comienza de nuevo. Una pequeña cantidad de esa agua, como se ha dicho con anterioridad, es extraída para ser analizada y ver si cumple los requisitos de la OMI.

Esta agua que se purga se puede descargar de manera segura por la borda sin perjudicar el ambiente marino. También puede ser guardado en un tanque hasta su descarga.

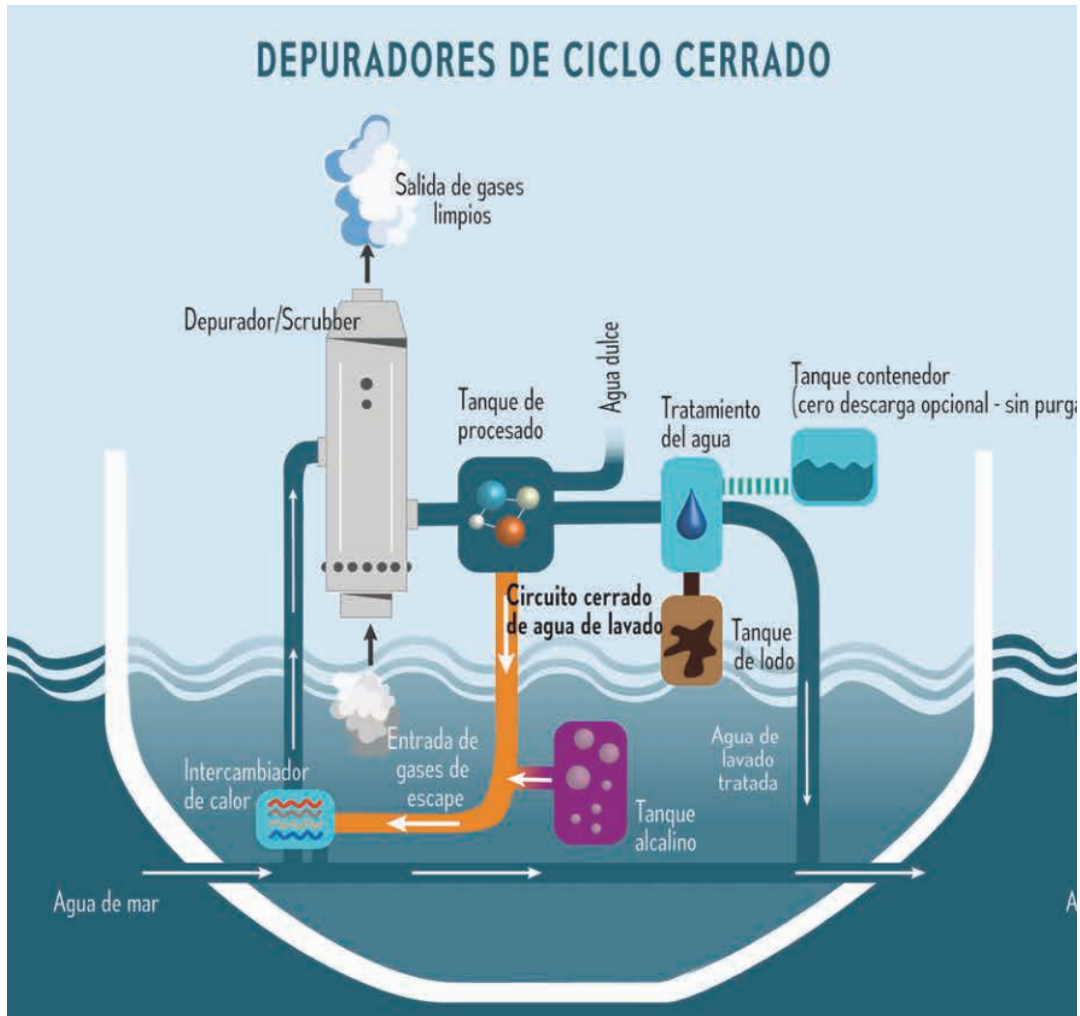


Ilustración 5: Scrubber circuito cerrado
Fuente: www.cedinox.es

Un scrubber de lazo cerrado se compone por lo siguiente:

- Tomas de mar.
- Bombas de agua de mar.
- Intercambiador de calor.
- Tanque alcalino.
- Unidad de alimentación alcalina.
- Unidad e tratamiento de agua.
- Calentador de gases.
- Unidad Scrubber.
- Bombas de agua de lavado.
- Unidad que separe los lodos del agua.
- Tanque de lodos.

- Unidad de análisis del agua del Scrubber.
- Unidad de análisis del agua de lavado.
- Bomba de descarga al mar.

En el scrubber de lazo cerrado hay dos circuitos de agua. Uno es el circuito del agua que es bombeada y alimenta la scrubber. Y el otro es el agua que va al intercambiador de calor con agua de mar, esta agua refrigerada va después al scrubber. Estos dos circuitos funcionan en paralelo.

De esta manera el intercambiador de calor es alimentado por la bomba que desplaza el agua de mar desde el filtro y la toma de mar hasta el propio enfriador. El intercambiador de calor mediante el agua de mar enfría el agua que sale del scrubber para así volver a realizar el circuito.

El agua se mezcla con la soda caustica mediante el módulo alcalino. Esta mezcla es controlada según el nivel de pH.

Además, hay una línea de agua técnica para compensar las evaporaciones o purgas del agua que circula. Es agua destilada o agua dulce.

En el scrubber el agua se pulveriza en dos etapas sobre los moldes para haber mayor superficie de contacto y así puedan mezclarse mejor para la limpieza de los óxidos de azufre. Para que la evaporación del agua sea mínima, se coloca en la parte alta del scrubber un separador (droplet).

En el momento que se abra el by-pass los gases de escape no pasan por el scrubber, sino que salen directamente a la atmósfera.

La purga de agua de lavado lo que intenta es mandar esa agua a la unidad de tratamiento de agua y limpiarla. De esa limpieza obtenemos efluentes y lodos.

El efluente es el agua limpia que se usa en el scrubber y puede ser descargada directamente. El lodo del scrubber es considerado como un lodo normal generado a bordo, por lo que se almacena en el tanque de lodos para su descarga cuando se llegue a puerto.

3.1.4. Tipo mixto.

Es un sistema de scrubber que funciona tanto en lazo abierto como en lazo cerrado, utilizando agua de mar para limpiar los óxidos de azufre.

Al trabajar en lazo abierto el agua salada de mar se junta con los gases de escape de los motores sin necesidad de aditivos como ya se explicó en el tipo de scrubber de lazo abierto.

En el caso del lazo cerrado la alcalinidad del agua de mar se sustituye por sosa caustica.

Lo bueno de un sistema híbrido es que puede adaptarse a cualquier cambio, ya sea al estar en puerto o no.

3.1.4.1. Humedad de los gases finales.

La combustión de los motores genera una gran cantidad de agua, en los diésel el agua puede ser un 5%.

El factor clave para determinar la cantidad de agua que puede haber en los gases de escape de un motor es la temperatura. A más temperatura mayor es la masa de agua que se tiene para alcanzar la saturación. Desde que los gases salen del motor hasta el scrubber los gases pueden tener 300°C. Al entrar en el scrubber se reduce esa temperatura hasta un 85%, y entonces, el agua de los gases que está en fase gaseosa se condensa al entrar en contacto con el agua fría de lavado. De este modo el agua de los gases de escape es mucho menor a la salida a la atmósfera que a la entrada del scrubber.

Todo esto es dependiente de la temperatura del agua de lavado. Normalmente, un separador de partículas elimina cualquier gotita de líquido arrastrada, y luego se utiliza un recalentador para elevar la temperatura de modo que el gas de escape no sea completamente saturado. Este hecho evita que el agua en la fase gaseosa forme vapor de agua y se condense después en superficies frías. A la salida de la chimenea hacia la atmósfera, el gas de escape se diluye inmediatamente, dejando caer los niveles de saturación. De nuevo, esto evita la condensación del agua por lo que no se forma un penacho a la salida del guarda calor.

En los buques que no tienen instalaciones de scrubber la temperatura de los escapes de los motores suelen ser 180°C, la temperatura por encima de rocío de los ácidos

sulfuroso y sulfúrico para así no condensarse en los metales para evitar la corrosión. Con una instalación scrubber esa temperatura de los gases se reduce y los ácidos de azufre se condensan dentro.

3.1.4.2. Cualidades del agua de scrubber.

La cualidad principal del agua de scrubber para el lavado y eliminación de los óxidos de azufre no es la salinidad, sino su alcalinidad. Esta alcalinidad la tiene el agua de mar, pero también es posible conseguirla de manera artificial mediante algún químico alcalino. La alcalinidad hace referencia al pH y también a la habilidad del agua de soportar los cambios de pH.

Esta cualidad total es la suma de bicarbonatos, carbonatos, boratos y otros iones. La salinidad es el contenido de sal que tiene el agua.

La alcalinidad en el océano es más o menos estable y muy alta, ya que está en torno a 2300 $\mu\text{mol/l}$. La alcalinidad de otros espacios marinos, ya sean costas, puertos, ríos, etc, dependerá de los drenajes de los ríos del entorno, viéndose afectada su química. Cuanto más carbonato tengan los suelos por donde vaya el cauce del río mayor será la alcalinidad de su agua. Un scrubber con agua de baja alcalinidad puede funcionar, pero va a estar sometido a reducciones en cuanto a la limpieza de los gases de escape.

3.1.5. Legalidad de los sistemas de scrubbers.

En cuanto a la normativa internacional sobre los requisitos de los métodos alternativos para el cumplimiento de las normativas de las emisiones de óxidos de azufre a la atmósfera establecidas en el Anexo VI del MARPOL, las directrices sobre los sistemas LGE revisadas en el MEPC 59/24/add.1 – Anexo 9 2009 especifican los requisitos para el ensayo, certificados de inspección y verificación de los sistemas de limpieza de gases de escape para asegurar que proveen la reducción eficaz de las emisiones. Como fundamento de utilización de la vigilancia de las emisiones de SO_x, se utilizará el parámetro SO₂ (ppm)/CO₂ (%) como base para el sistema de control. Por tanto, el cumplimiento se demuestra basándose en los valores de la relación SO₂ (ppm)/CO₂ (% v/v) de la tabla siguiente:

Cantidad de S en el combustible (% m/m)	Relación de emisiones SO ₂ (ppm)/CO ₂ (% v/v)
4,5	195,0
3,5	151,7
1,5	65,0
1,0	43,3
0,5	21,7
0,1	4,3

Tabla 1: Relación cantidad de S con emisiones SO₂.
Fuente: Elaboración propia.

Sería necesario un plan de cumplimiento de emisiones de SO_x (SECP) aprobado para los buques que utilicen de forma parcial o forma temporal un sistema de scrubber. Son permitidos dos planes diferentes.

3.1.5.1. Plan A.

Es la aprobación, el reconocimiento y la certificación del sistema de scrubber a través de comprobaciones de parámetros y emisiones.

Es necesario conseguir el certificado de cumplimiento de zonas SECA. Es donde se informa que el scrubber tiene un manual técnico y que se realizan las mediciones del agua de lavado.

Las operaciones para realizar las comprobaciones son:

- Aprobación de la unidad.
- Unidades fabricadas en serie.
- Aprobación de la gama de productos.

Aprobación de la unidad:

La aprobación de la unidad requiere que la instalación tenga la certificación de que es apta para satisfacer el valor límite determinado por el fabricante con un combustible que tenga el cumplimiento del contenido máximo de azufre especificado también por el fabricante. El valor certificado debería como mínimo ser tal que el buque se explote en las condiciones prescritas en las reglas 14.1 y/o 14.4 del Anexo VI del Convenio MARPOL.

Unidades fabricadas en serie:

Para que no se sometan a pruebas cada una de las unidades, el fabricante podrá determinar que la producción de las unidades ha sido en serie para que sea aceptado por la Administración.

Aprobación de la gama de productos:

Debido a que una unidad scrubber puede tener otro proyecto exactamente idéntico, pero con distinto caudal másico máximo, puede ser aceptado por la Administración que, para no probar todas las capacidades de la unidad, los ensayos se hagan con tres capacidades distintas y sometiéndolo a los valores de capacidad más altos, más bajos y uno intermedio.

- Límites de emisiones:
 - Toda unidad scrubber debe estar capacitada para reducir las emisiones hasta que sean iguales o menores a las certificadas.
 - Las instaladas en motores principales diésel deberán cumplir el apartado primero en todas sus cargas entre 25% y 100% en cada rango de carga.
 - Las instaladas en motores auxiliares diésel deberán cumplir también el primer apartado en todas sus cargas entre 10% y 100% en cada rango de carga.
 - Las unidades de motores diésel con fines propulsivos y como auxiliares deberán cumplir el apartado tercero.
 - Las unidades en calderas deberán cumplir el primer apartado en todas las cargas entre 10% y 100% de la gama de carga (régimen de vaporización) o, si el margen de regulación es inferior, por encima de la gama de carga real de las calderas.

Para poder estudiar el rendimiento, se debería de tomar medida de las emisiones mínimo en cuatro puntos de carga:

- Al rededor del 5% del caudal másico mínimo del gas de escape para el que se certificará la unidad.
- Sobre el 95-100% del caudal másico máximo del gas de escape para el

que se certificará la unidad.

- El resto de los dos puntos se repartirán por igual entre los caudales máxicos mínimos y máximo del gas de escape.

3.1.5.2. Plan B.

Es la aprobación, el reconocimiento y la certificación del sistema de scrubber a través de vigilancia continua de las emisiones de óxidos de azufre.

Este plan trata de una continua vigilancia de las emisiones de SO_x. La Administración del país de bandera debe de ser la encargada de aprobar el sistema de vigilancia que aporte los datos usados para cumplir la normativa.

Con este plan se demuestra que el valor de las emisiones de los gases del scrubber sea el prescrito o menor en cualquier punto de carga, siguiendo las mismas normas del MARPOL del Plan A.

Ensayos relativos a las emisiones.

- CO₂: Es medido en seco mediante un analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR): mide en seco el CO₂.
- SO₂: Es medido en seco o húmedo mediante un analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR) o mediante analizadores ultravioleta no dispersivos (NDUV) y otros equipos necesarios.

Será necesario determinar la cantidad de agua en los gases de escape para ajustar la lectura a un valor de base seca.

Manual de vigilancia a bordo (OMM).

La OMM es del scrubber y del equipo de combustión para poder demostrar su cumplimiento. El OMM debe incluir lo siguiente:

- Sensores que analicen el rendimiento del scrubber y del agua de lavado, además de su mantenimiento, calibración y servicio.
- Puestos en los cuales se tomarán las medidas de las emisiones y la vigilancia del agua de lavado, además de todo lo que tenga que ver con los servicios auxiliares.

- Analizadores además de las prescripciones al servicio, calibración y mantenimiento.
- Calibrado y calibración de fondo de escala del analizador.

Plan de cumplimiento por el buque de las emisiones de SO_x (SECP).

El SECP debe de aprobarse por la Administración para todos los buques que utilicen una instalación scrubber.

En el SECP se debería enumerar cada elemento del equipo de combustión de fueloil que tenga que ajustarse a las prescripciones para funcionar de conformidad con las prescripciones de las reglas 14.1 y/o 14.4.

3.1.6. Monitorización de las emisiones.

En el plan B se permite controlar de forma permanente la relación de las emisiones de CO₂/SO₂, para poder asegurar que estas emisiones tras el paso por el scrubber se correspondan con los límites de azufre de los combustibles.

Los combustibles forman óxidos de azufre, tanto dióxido como trióxido de azufre, los cuales son conocidos como SO_x. De estos dos el principal y el de mayor cantidad es el dióxido de azufre (>95%), por ello, las emisiones de óxidos de azufre se monitorizarán como SO₂.

Según algunos estudios es posible que haya beneficio neto del CO₂ al usar combustibles de elevado contenido en azufre con scrubbers. Las emisiones de dióxido de azufre se pueden llevar al 0% prácticamente además de que se reduce de manera gigante la emisión de partículas, beneficiando la calidad del aire.

Las partículas eliminadas por el scrubber también deben de eliminarse del agua de lavado mediante una planta de tratamiento para que ese agua con esas partículas contaminantes no acaben en el mar. Los lodos no solo dependen de las partículas, sino también de la cantidad de agua que se mezcla tras el tratamiento. La cantidad de agua suele ser 0,6 toneladas por 100 de combustible.

Es necesario por normativa de la OMI que se tenga constancia de los siguientes

registros del agua de lavado:

- PH.
- PAH.
- Turbidez.

3.1.6.1. Valor de pH en la descarga.

Si el pH del agua de descarga no es el adecuado podría afectar negativamente a los organismos marinos, para ello la OMI estableció unos límites en cuanto al pH, siendo de 6.5. El pH debe de ser medido continuamente.

El agua de descarga no puede tener un pH menor de 6.5. Solamente cabría la excepción de que la medida entre la entrada y la salida de la descarga tenga una diferencia de 2 unidades.

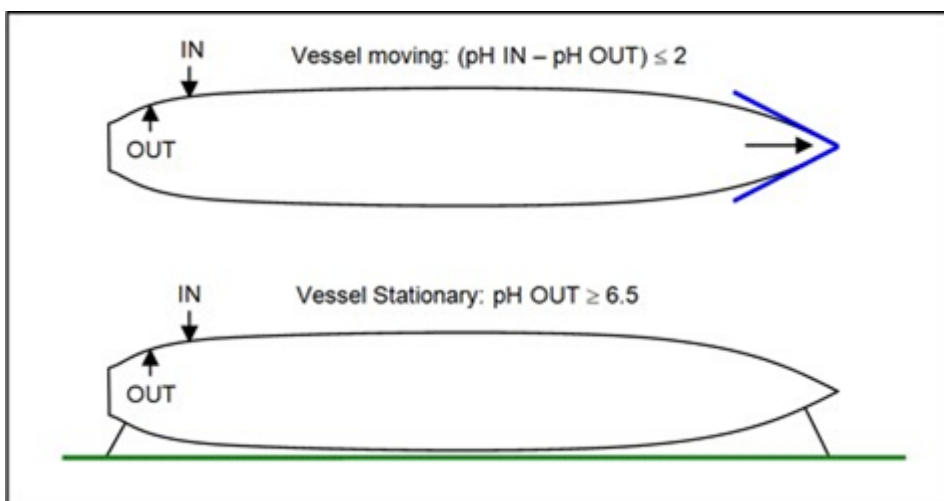


Ilustración 6: Mediciones y valores de pH del agua en la descarga.

Fuente: www.egcsa.com

Estas dos maneras de medir el pH según si el buque está en movimiento o atracado, permite tomar estándares más estrictos para el caso de los buques atracados en puerto y con los motores principales parados. En el caso de que el buque siga en movimiento el criterio sigue estando correcto. Cuando el buque está en movimiento este genera una estela de agua, la cual favorece la mezcla del agua descargada con la del propio mar y recupera rápidamente el pH.

Al poner en servicio el scrubber tras instalarlo, el agua descargada se debería de medir

desde fuera del buque y el pH a 4 metros del punto de descarga tendrá un valor igual o menos de 6.5.

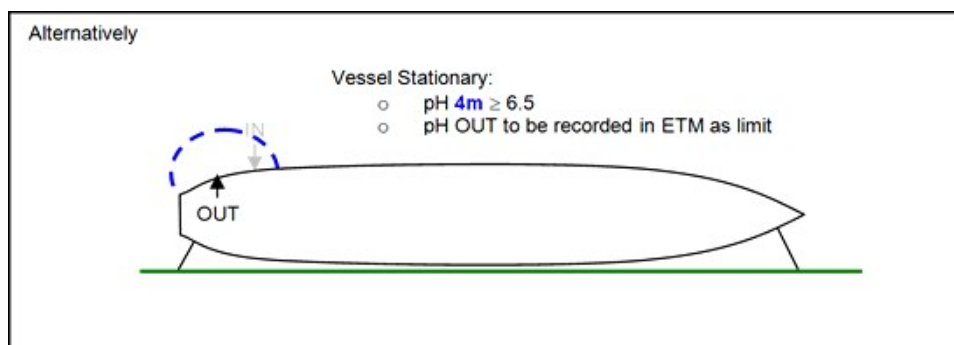


Ilustración 7: Mediciones de valores de pH para calibrar el límite permitido.

Fuente: www.egcsa.com

El agua puede tener un pH inferior a 3 por lo que el agua de lavado puede ser disuelta para elevar el pH para evitar problemas en el medioambiente marino y corrosión en el sistema. En el caso de reducir energía de las bombas se puede utilizar el agua de mar utilizada para enfriar los sistemas para mezclarla con el agua de lavado antes de la descarga al mar.

3.1.6.2. HAP.

Las siglas HAP hacen referencia a los hidrocarburos aromáticos policíclicos, que son compuestos orgánicos con dos o más anillos aromáticos condensados formados por hidrógeno y carbono. Tienen propiedad semivolátil. Son sustancias contaminantes prioritarias y cancerígenas para los animales, además de capacidades tóxicas agudas y con efectos sub-letales para los seres marinos. A los seres humanos puede llegar debido a que se pueden acumular en moluscos o crustáceos.

Es un compuesto que se encuentra en el petróleo y se puede producir de la combustión del combustible. A bordo de los buques se forman este tipo de compuestos, aunque los motores son capaces de quemar al máximo el combustible, los gases de escape siempre tienen una parte de combustión incompleta.

Gran variedad de HAP llegan al medio ambiente. Mediante aguas residuales, escorrentía de carreteras, quema de combustibles fósiles, derrames de petróleo, incendios en bosques o cultivos, partículas volcánicas y filtraciones naturales de petróleo. En las épocas de invierno se puede incrementar debido a las calefacciones. Cuanto más peso molecular tengan los HAP más hidrofóbicos son y mayor facilidad de unión a

partículas.

Los buques durante las maniobras en aguas poco profundas pueden mover los sedimentos y estos entrar en el sistema de agua de lavado. Será necesario según la OMI que se debe de tener en cuenta el valor del HAP del fondo en la entrada del agua de lavado cuando se vaya a medir el HAP del agua de la descarga. Esta medición será siempre antes de cualquier dilución en esta agua.

El scrubber elimina gran parte de las partículas de los gases de escape, por ello antes de descargar el agua de lavado al mar este debe de pasar por tratamientos para eliminar todas estas partículas.

3.1.6.3. Medición de turbidez.

La turbidez es el grado en el que debido a las partículas en suspensión el agua pierde su transparencia. Cuantos más sólidos en suspensión tiene el agua, mayor es su turbidez y más borrosa es.

Parámetros que influyen en la turbidez:

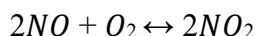
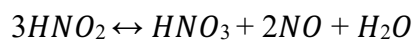
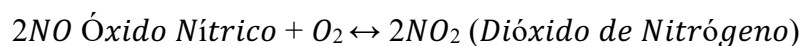
- Florecimientos de algas.
- Sedimentos de la erosión.
- Re-suspendido de los sedimentos del fondo marino.
- Descarga de residuos.
- Fitoplancton.
- Escorrentía urbana.

La OMI ha determinado límites de turbidez para el agua de lavado, pero es necesario dar unos 15 minutos de margen entre la entrada y la descarga. En la entrada suele haber elevada turbidez debido a las maniobras en aguas poco profundas.

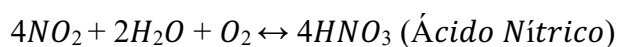
3.1.6.4. Nitratos.

El óxido nítrico (NO) es formado debido a que en la combustión se producen reacciones que oxidan pequeñas partes del nitrógeno de aire de carga y grandes partes del nitrógeno del combustible. Tras esto y con la presencia de exceso de oxígeno, en el enfriador de gases de escape se convierten 5%-10% de los óxidos nítricos (NO) en dióxido de nitrógeno (NO₂). Ambos forman los NO_x.

El dióxido de nitrógeno se transforma en ácido nítrico con la presencia de agua, que luego es fácilmente ionizable en nitrato (NO_3^-).



Así que, en general,



El nitrato es un nutriente que promueve la formación de algas. Una rápida acumulación de algas produciría una interrupción del sistema marino, produciendo problemas tales como la falta de oxígeno en el agua.

Para que las algas se produzcan es necesario que realicen la fotosíntesis, para lo cual es necesario fósforo, nitrógeno y carbono. El fósforo en los océanos es el factor limitante, por lo que no es posible la formación de estas. Cerca de costas o puertos hay concentración de fósforo, por lo tanto, es posible la formación de biomasa.

Las emisiones de nitratos dependen del tipo de motor, la temperatura de combustión y del contenido de nitrógeno en el combustible. El óxido nítrico no puede ser soluble en agua, pero el dióxido de nitrógeno sí, por lo que gran parte puede ser eliminado en el proceso de limpieza de gases de escape y formar nitrato en el agua de lavado. Según la OMI no es necesario un monitoreo continuo de los nitratos como requiere con el pH, PAH y la turbidez. Pero si fija un límite basado en la eliminación del 12% de los nitratos.

3.2. Instalación en un buque de carga rodada.

Las instalaciones de eliminación de gases de escape para los motores marinos pueden ser fabricadas de diferentes tamaños, dependiendo del tamaño de los motores, de su potencia o del uso que van a tener. Hay fabricantes que según la potencia del motor puede adaptar la instalación a los requisitos.

Uno de los aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de hacer una transformación de este tipo es el espacio, si se instala fuera de la chimenea o dentro de manera que sea continuación de esta. No solo hay que prestarle atención al espacio en cuanto a las dimensiones de todos los equipos, sino también, y sobre todo, en cuanto al peso, debido a que podría afectar de manera negativa a la estabilidad del buque.

En el buque que vamos a tratar, al ser de lazo abierto no tiene tantos equipos como supondría una instalación de lazo abierto o mixto, por lo tanto, el buque va a sufrir menos peso, pero aun así la instalación da un peso adicional considerable, no solo con los equipos, sino también con el soportado de estos, son una gran cantidad de toneladas de acero adicionales.

3.2.1. El buque por transformar.

El buque protagonista de este trabajo es el J.M. Entrecanales, cuyo nombre se cambia en el propio astillero a Villa de Tazacorte. Es un buque perteneciente a la naviera Tramediterránea, perteneciente a Armas, y es el mayor barco de transporte carga rodada de alta velocidad de la flota mercante española. Fue construido por Navantia en Puerto del Real (Cádiz) para Acciona Tramediterránea en el año 2010 y cubre la ruta entre Cádiz y Canarias. Es el gemelo del buque Baleares, estos barcos cubren las rutas entre Canarias, Andalucía, Barcelona y Alicante con la idea de reforzar el servicio intermodal que Acciona viene prestando al sector de la exportación de productos frescos de Marruecos, conectando Agadir con Barcelona en tan solo 36 horas. Esta embarcación fue diseñada para poder cubrir rutas de 700 y 800 millas náuticas dos veces por semana o una semanal de 1.500 millas.



Ilustración 8: JM Entrecanales antes de la transformación.

Fuente: www.canaryports.es

El José María Entrecanales está equipado con cuatro cubiertas que albergan el transporte de carga rodada; la bodega baja la cual está situada sobre el doble fondo, cubierta principal, superior e intemperie. La carga accede mediante una rampa situada en la popa del barco en la cubierta superior.

Características principales del J.M. Entrecanales	
Eslora total	209,00m
Eslora entre pp.	190,00m
Manga de trazado	26,50m
Puntal a cubierta principal	9,60m
Calado de diseño	7,00m
Calado de escantillonado	7,10m
Peso muerto al calado de diseño	9.325t
Potencia propulsora	4x10.800kW a 500 rpm
Velocidad de servicio	26 nudos
Autonomía	3.000 mn
Capacidad de carga	¿?
Nº Módulos de 14,3m	187
Nº Turismos en cubierta fija	100
Nº Contenedores “mafi”	23
Tripulación + Pasaje	40 personas
Clasificación	Bureau Veritas

Capacidades	
Combustible	1.075 m ³
Diesel oil	100 m ³
Aceite lubricante	70 m ³
Agua dulce	70 m ³
Agua destilada	30 m ³
Agua de lastre	3.400 m ³
Tanques antiescora	800 m ³
Agua tanque estabilizador	135 m ³

El sistema de propulsión del buque se basa en cuatro motores principales MAN cada uno de 9 cilindros, los cuales desarrollan una potencia de 10.800 kW a 500 rpm.

Además de los principales dispone de tres motores auxiliares MAN Diesel de 8 cilindros con una potencia cada uno de 1.935 kW a 1.000 rpm.

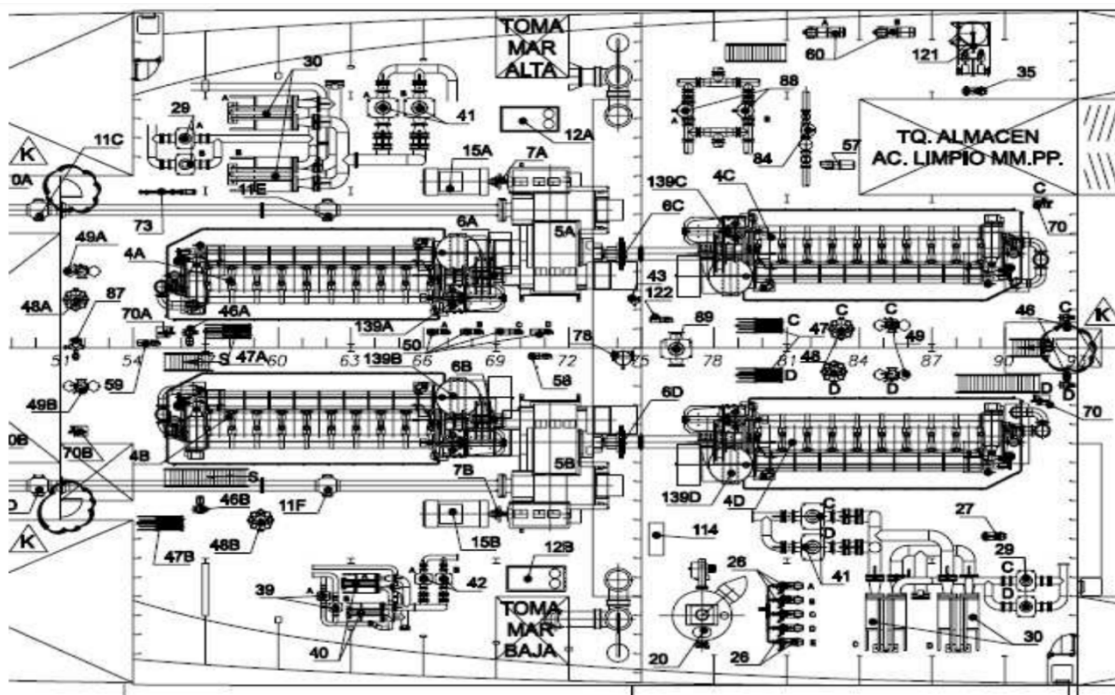


Ilustración 9: Distribución de los motores en cubierta 1.
Fuente: Plano general de equipos del buque JM Entrecanales.

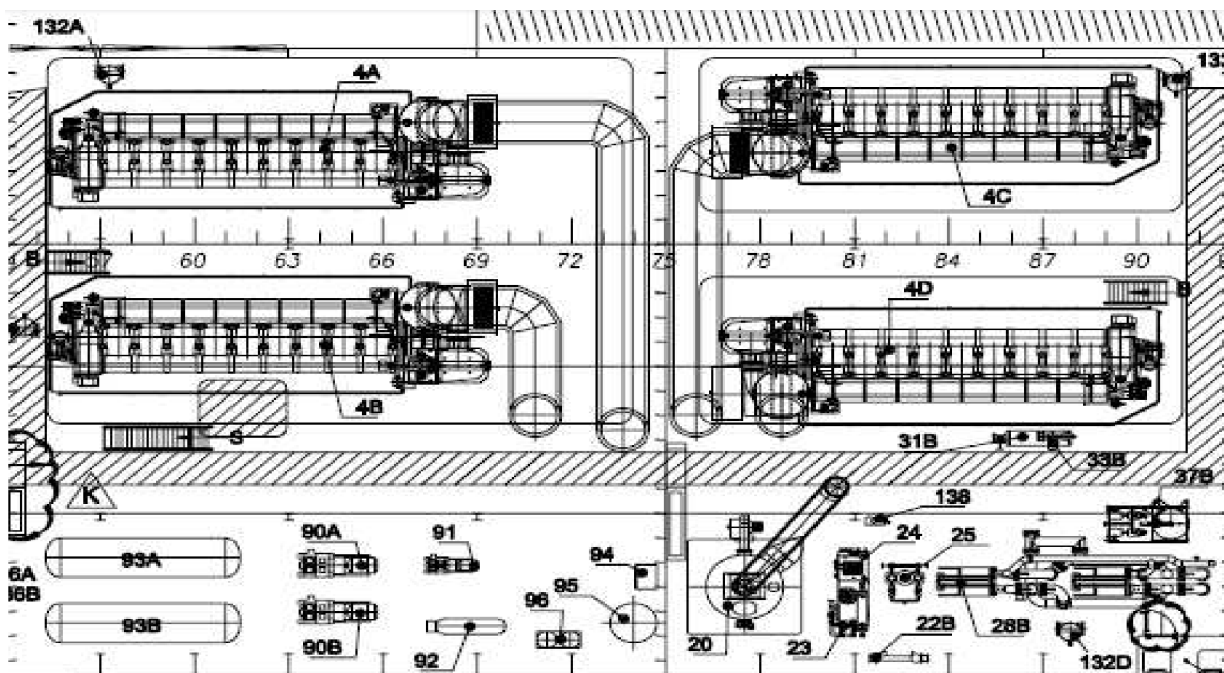


Ilustración 10: Distribución de los motores en cubierta 2.
Fuente: Plano General de equipos del buque JM Entrecanales.

3.2.2. Organigrama de la transformación.

Los trabajos por realizar se llevan a cabo bajo el siguiente organigrama que ayudará a la hora de gestionar la transformación:

1. Visitas previas al barco para realizar una estrategia de trabajo por parte de los responsables de cada gremio involucrado.
2. Trabajos de prefabricación de tubería mediante planos e isométricas, los cuales son; tubería de GRE, tubería galvanizada de la toma de mar, escapes y tubería de removidos.
3. Trabajos de desguace de toda la tubería de los escapes viejos desde la cubierta 6 tras la salida de los economizadores y removidos de tubería que hay que modificar para crear espacio.
4. Corte de la cubierta superior del guarda calor para facilitar la salida de los escapes viejos y la entrada de los nuevos y de las torres.
5. Instalación de los nuevos escapes.
6. Instalación dampers y de todas las líneas de soplado de los dampers.
7. Instalación de las torres scrubber.
8. Soportación de las nuevas torres.
9. Instalación de las tuberías de descarga desde las scrubbers.

10. Fabricación y montaje del aislamiento de las nuevas torres y de los tubos de escape.
11. Cierre de la cubierta superior del guarda calor.
12. Instalación de sensores, caudalímetros, bombas, equipos y sistemas de motorización.
13. Fabricación y montaje de plataformas, escaleras, tecles y tramex de cada cubierta del guarda calor.
14. Reinstalación el sistema de contraincendios y de seguridad del guarda calor.
15. Pintado del guarda calor y reinstalación del aislamiento.
16. Apertura de cesáreas para la nueva toma de mar y la nueva sala de bombas.
17. Apertura de los pasantes de cubierta de las tuberías de GRE de impulsión y de descarga.
18. Introducción de los equipos en la sala de bombas, el filtro, colector y bombas de impulsión.
19. Fabricación y montaje de los polines de las bombas de impulsión.
20. Fabricación y montaje de las tuberías de GRE de impulsión hacia las torres de lavado.
21. Pintado de la nueva sala de bombas.
22. Fabricación y montaje de plataformas, escaleras, tecles y tramex de las cubiertas de la sala de bombas.
23. Instalación de la puerta de seguridad de la sala de bombas.
24. Cableado de la sala de bombas y torres de lavado hasta el cuadro de control de la sala de control.
25. Commissioning y pruebas de mar.

3.2.2.1. Trabajos previos a la llegada del barco.

Antes de todos los trabajos previos y de la llegada del buque a Astander fue necesario realizar varios viajes a Cádiz para visitar el barco, aclarar detalles en el sitio, tomar decisiones de manera presencial, realizar una disposición de los trabajos, etc.

En estas visitas cada responsable se hizo cargo de cada parte de la transformación; tubería, acero, pintura, ajuste... Se realizó una revisión del barco y con mayor intención las zonas en las que se iba a trabajar. La mejor forma de preparar un trabajo es estando

en el lugar del trabajo.

La transformación se iba a realizar desde la parte baja hacia el alta, y realizando trabajos paralelos en ambas zonas, desde la sala de bombas hacia el guarda calor.

Por lo tanto, se comenzaría desde la sala de bombas en la cual se instalarían una toma de mar, un filtro, y dos bombas de impulsión hacia las scrubbers, además de todas las tuberías de GRE de conexión.

La visita en la cual asistí yo fue la última de todas, una semana antes de que el barco entrara al astillero. En ella fuimos los responsables de tubería de Astander con el responsable de la subcontrata que iba a realizar los trabajos de tubería, y lo mismo de la parte eléctrica.

La labor que llevamos a cabo fue revisión in situ y planificar como realizar los trabajos. Los trabajos principales que se miraron con la subcontrata fue la obra del guarda calor, la parte de las tuberías que había que rehacer de nuevo con una nueva ruta, ya que estorbarían en el momento de realizar la instalación. Debido a que los primeros días en el guarda calor iba a haber mucha gente y diferentes empresas realizando cada uno su trabajo, marcamos cada una de las tuberías que había que modificar, desde qué punto hasta qué punto, marcando también las que no había que cortar, para que cualquiera que trabajara lo tuviera claro.

Al ser tanta gente trabajando y en diferentes labores sabíamos que era irremediable que se cortaran tuberías que no serían necesarias cortar, por lo tanto, en esa situación se trabajaría sobre la marcha.

Otra de las labores era marcar el lugar más conveniente para realizar la cesárea por la cual introducir los equipos al guarda calor. Teniendo en cuenta que el guarda calor iba a ser modificado por completo habría que poder sacar y meter la chatarra de los viejos escapes e introducir los nuevos y las torres, sin contar con las bombas, las tuberías, los sopladores, nuevos tecles, tramex, vigas, refuerzos, etc.

3.2.2.2. Prefabricación.

Antes de que el barco llegue al Astillero se deben de tener trabajos terminados para una vez allí comenzar y así tardar lo menos posible en la transformación. Estos trabajos serían los que tienen que ver con isométricas y planos. El astillero pidió presu para estos trabajos a diferentes empresas de la industria auxiliar. Los trabajos se repartieron dependiendo de la cantidad de trabajo a cada empresa. De esta manera evitamos que los trabajos sean elaborados por más de una empresa, cosa que produciría retrasos, confusiones y confrontaciones.

Los trabajos en su mayoría serían de tubería, y son los siguientes:

- Codo, filtro y colector de sala de bombas: Una de las empresas, mediante los planos e isométricas, se encargaría de la fabricación del codo de la toma de mar, el filtro y el colector de las bombas, además de otras tuberías a renovar en el local de la nueva sala de bombas. Estos elementos se fabrican de acero galvanizado, ya que va a circular agua salada a través de ellos.
- Tuberías de impulsión y descarga: Las de impulsión son las líneas de tubería que conectan las bombas de impulsión de la sala de bombas con las torres scrubber, y transportan agua salada. Las tuberías de descarga transportan agua a una temperatura de unos cincuenta y cinco grados tras el paso por la torre y ser calentada por los gases de escape, debido a eso y a la alta acidez debido al azufre provocan una gran corrosión, por lo que se debe de fabricar de un material resistente, el GRE. Las tuberías de impulsión, al ser un lazo abierto, podrían ser de galvanizado, pero se decidió fabricar también de GRE para que en un futuro la transformación pudiera modificarse para lazo cerrado. El GRE está fabricado por fibra de vidrio y resina epoxy y resiste mucho más la corrosión, además de ser 30 veces más caro que el galvanizado. En la torre todos los tramos de entrada de impulsión son de SMO, además de los pasantes de cubiertas que no pueden ser de GRE ya que deben ir soldados y el GRE al ser epoxy con fibra de vidrio no lo permite. El SMO es una aleación de acero inoxidable austenítico con un alto contenido de molibdeno, tiene unas capacidades de alta resistencia a la corrosión, resistente al impacto y con excelente soldabilidad y trabajabilidad. Además, el último tramo de las

descargas, la parte que da a casco es de acero y con tratamiento especial de pintura de elevado espesor y resistente a la corrosión. Este tipo de tubo es especial y milimétrico, ya que las tuberías que dan a casco deben de ser tubería certificada y especial de un elevado espesor, por lo tanto, es un material con un plazo de entrega bastante amplio. Debido a todo esto y porque estamos hablando de un trabajo crítico para poder salir de dique fue de vital importancia tener unas isométricas claras y revisadas.

- Escapes: Una vez con todos los planos de escapes listos y los tramos de tubería fabricados por la empresa contratada había que comenzar a cortar los escapes viejos desde la cubierta 6 y sustituirlos por los nuevos. Una vez listos en su posición, y con todos los equipos necesarios en el interior del guarda calor, se pudo colcar en sus asientos las dos torres de lavado. Esta fue una maniobra bastante compleja debido a dos motivos, el poco espacio que había para maniobrar la posición de la torre en sus apoyos una vez estuviera en el interior y por la multitud de estorbos que se podían encontrar que no estaban previstos previamente, ya sean tuberías, vigas, soportes... Previo a toda esta maniobra se tuvo que cortar la top plate para permitir el acceso de cada equipo.

A la hora de realizar los trabajos en el barco se tuvieron problemas de organización en cuanto a los trabajos de las empresas auxiliares propias del astillero, debido a que el barco tuvo un retraso de un par de meses y la organización estaba dispuesta para los meses que estaban previstos. Los trabajos de prefabricación se realizaron sin problema, pero a la hora de realizarlos en el buque, debido al retraso y a los trabajos previstos para los otros barcos que estaban siendo atendidos en el astillero, la empresa auxiliar, Barrero y Domínguez, no tenía suficiente personal para realizar todos los trabajos. Por este motivo se tuvieron que modificar sobre la marcha la organización de determinados trabajos para que los realizara otra empresa.

Esto provoca problemas a la hora de presupuestar los trabajos y de pagarlos a las empresas, ya que los trabajos estaban presupuestados completamente, tanto la fabricación, la desinstalación de lo viejo y la instalación. En este caso se optó por dejar el presupuesto de la fabricación, y pagar por horas a las empresas elegidas para la desinstalación e instalación, Agorpa y Ainair. Debido a todo esto se generó una falta de información recibida por las empresas que realizaron esos trabajos, ya que la visita a Cádiz fue realizada por la empresa principal, Barrero y Domínguez. Por lo tanto, se tuvo que ralentizar todos estos trabajos, llevándolos a cabo de forma más lenta, con necesidad

de estar más encima de los trabajadores para solucionar dudas.

3.2.3. Instalación de las scrubbers en el JM Entrecanales.

Como ya se ha explicado a lo largo de este trabajo, una instalación de este tipo se lleva a cabo con la finalidad de satisfacer las obligaciones de la OMI con respecto a las descargas de gases a la atmósfera. Partiendo de esa base, a la hora de realizar una transformación así se debe comprobar si el barco tiene las características necesarias para llevarla a cabo, debido a que es una obra grande. El buque tiene que estar provisto de espacio adicional para poder instalar todos los equipos necesarios, ya sean bombas, filtros, descargas, tanques, etc, sin olvidarnos nunca de los metros y metros de tuberías de grandes dimensiones por lo general.

Lo primordial de estas instalaciones será que se respeten y protejan todas las zonas de paso, escaleras, zonas de evacuación o salidas de emergencia.

Para poder explicar poco a poco cada uno de los elementos que forman parte de las scrubbers instaladas en el J.M. Entrecanales vamos a empezar por la zona de la toma de mar subiendo por la impulsión hacia las propias scrubbers y bajando hacia las descargas.

Al ser un buque al cual se le va a realizar una transformación de los escapes de los motores se encuentran dos problemas principales que se deben solventar, uno es qué hacer con toda la zona del guarda calor, todas las tuberías, vigas, equipos, qué es necesario y qué no, qué elementos hay que modificar. Y la otra es que espacio usar para poder instalar los servicios principales de descarga, sala de bombas y toma de mar.

La solución al problema uno es sencilla, trabajo de ingeniería para estudiar el barco con detenimiento, mediante 3D, medidas de cada zona, de cada equipo a instalar, de cada tubería existente y nueva, de cada viga o soporte.

La solución al problema dos tiene que ver con la solución del primero, del estudio de ingeniería realizado se encuentra el mejor lugar o zona para llevarlo a cabo.

3.2.3.1. Realización de trabajos en el guarda calor.

Al entrar el barco en el dique seco se comenzaron a llevar a cabo los primeros trabajos de corte, en diferentes grupos de trabajo cada uno con una labor de manera simultánea. Un grupo dedicado al corte de cesáreas, vigas, pasarelas, escaleras, refuerzos y estructuras por todo el guarda calor. Otro grupo de trabajo dedicado al corte de los antiguos escapes desde la cubierta 6, tras la salida de los economizadores. Y un último grupo dedicado al corte de tuberías de removidos, las tuberías que había que rutear de nuevo para generar espacio en el que pudieran entrar las torres y los equipos nuevos de la instalación.

Antes de realizar cortes en los tubos de escape se tuvieron que tapar los conductos en la salida superior de los economizadores mediante chapas ciegas, para evitar de esta manera que introdujera en los conductos de escape de los motores principales cualquier tipo de chatarra u objeto extraño que pudieran dañarlos.

Los tubos de removidos eran venteos de tanque de aceite y fuel, por lo tanto, no se podían taponar como se hizo con los escapes, por lo tanto, se cortaron a una altura segura, para así poder conectar unas mangueras flexibles hacia una zona de escape, en este caso el garaje de la cubierta 5. A las tuberías existentes, las cuales en esa zona no se iban a renovar, se les realizó un corte de unos 100mm de longitud, los cuales al final de los trabajos se arreglarían con unos carretes. Las mangueras flexibles no podían estar en la zona del guarda calor, debido a que prevención no lo permitía, ya que no generaba la seguridad necesaria como para estar en un lugar en el que cualquier zona iba a tener trabajos en caliente, iba a haber chispas y cualquier descuido podía hacer que los gases de aceite o diésel produjeran una desgracia.

El barco tenía en servicio el generador de emergencia, por lo tanto, estos venteos tenían que estar operativos, además de que si se hubieran cerrado los venteos la acumulación de gases que se concentrarían en los tanques hubieran sido peligrosos a la hora de volverlos a abrir.

Una vez realizados todos los trabajos de desmantelación del guarda calor tocarían los trabajos de soportado de los escapes nuevos, mediante vigas HB. Los economizadores se encontraban en la cubierta 5, y no se renovarían, por lo tanto, los escapes y las expansiones comenzarían desde la salida de estos, en la cubierta 6. Los escapes fueron

fabricados en acero Corten, un material el cual no necesita ningún tratamiento anticorrosión, ya que lleva un tratamiento químico especial en el que el propio óxido del material genera una película protectora que evita la corrosión. Las expansiones eran del mismo material que las torres de lavado, DUPLEX, que es un acero de alta resistencia a la corrosión y temperatura.

Cuando todo el trabajo de soportación y de instalación de los escapes se completó se comenzó con la parte de las torres de lavado. Las torres fueron encargadas fabricar con material super dúplex. De fábrica las torres ya venían con las pruebas y ensayos realizados. Se vieron sometidas a ensayos no destructivos como pruebas de presión, las cuales consisten en cerrar todos los orifios mediante bridas ciegas e introducir aire a presión hasta alcanzar una presión de unos 0.3 bares durante unas 20 horas y que no disminuya, mientras se utiliza agua con jabón sobre las soldaduras para verificar que no hay fugas. Otra de las pruebas es la de líquidos penetrantes sobre las soldaduras, esta prueba se basa en aplicar productos químicos, el primero es un producto de color que se introduce sobre las irregularidades de las soldaduras, este producto se limpia de manera superficial y se le aplica un segundo producto que reacciona con el primero para dejar en descubierto las fugas, grietas o roturas que pudiera haber.

Por lo tanto, cuando las torres llegaron al astillero se tomaron medidas para asegurar que venían con las dimensiones exactas a los planos. Una vez estuvieran los escapes listos hasta la entrada de las scrubbers y la gran mayoría de los equipos en el interior del guarda calor ya se podría comenzar con la introducción de dichas torres.



Ilustración 11: Prueba de presión de las torres a 0,3 bar.

Fuente: Elaboración propia.

Las torres llegaron simplemente protegidas mediante un plástico que las envolvían completamente. Ese plástico de protección se mantendría hasta los últimos días de la transformación. Los gases de escape que llegan a las scrubbers alcanzan una temperatura de unos 700-800°C, por lo tanto, estas tuberías deben de ser aisladas por el contacto con personas o con materiales que pueden ser inflamables. El trabajo de aislamiento fue uno de los últimos, ya que el espacio en el guarda calor era bastante reducido, y el aislamiento que requerían eran de unos 150-200mm de grosor, por lo tanto provocaría una reducción importante de espacio para el resto de trabajos. En el caso del aislamiento de las torres fue un trabajo previo a la instalación, debido a que eran bastante grandes como para realizar esos trabajos en el reducido espacio que quedaría en el guarda calor. Este trabajo se realizó en la campa junto al dique 2 con la protección de una carpa en caso de lluvia y una vez terminado fueron envueltas por otro plástico impermeable para evitar así que el propio aislamiento se mojara, si esto ocurre el aislamiento tarda mucho en secar y pierde propiedades.

El trabajo previo a la colocación de las torres en el guarda calor fue la instalación de soportes siguiendo el plano de disposición.

En el momento en que estos trabajos finalizaron ya pudimos comenzar con la maniobra. Se realizó primero el posicionamiento de la torre de proa. La dificultad de la maniobra fue el poco espacio disponible que tenía el guarda calor para poder jugar con la torre. Las dos torres tuvieron las mismas dificultades, sobre todo a la hora de pasar refuerzos, vigas o tuberías cercanas. Los cilindros pasaban, pero los salientes de tubería de agua de la propia torre en varias ocasiones no permitían el paso, por lo tanto, se tuvo que ir bajando poco a poco, y girando la torre en un sentido y en otro para poder evitar cualquier estorbo, antes de recurrir a la última opción que sería cortar. La torre de popa fue la más compleja de meter, ya que con la de proa situada, reducía aún más el espacio con el que poder jugar, hasta tal punto que no se pudo evitar que parte del aislamiento de la torre resultara dañado. Tan pequeño era el espacio que las bocas de hombre baja y media de las torres no podían abrirse completamente, ya que golpeaban con los ventiladores.

Al igual que las tuberías de impulsión, las de descarga también serán de GRE, pero estas debido a la acidez que provoca el azufre. Son dos líneas, una de cada scrubber que bajarían desde las propias torres hacia la sala de máquinas, que es donde se sitúan los orificios de descarga. Al casco del barco se le debe soldar un tramo de tubería de acero de gran espesor, protegido con pintura y tratamientos propios del casco. Desde ese punto hasta la salida de descarga de la scrubber las tuberías son de GRE.

3.2.3.2. Instalación de plataformas de acceso y sensores.

Una vez finalizados los trabajos del guarda calor llega el turno de quitar los andamios usados para dichos trabajos y prefabricar e instalar las nuevas plataformas de acceso y escaleras para poder alcanzar cada uno de los equipos, ya sean válvulas, sensores, bocas de hombre de las torres, bombas y además de poder acceder hasta la top plate. Las plataformas son fabricadas mediante angulares y rejillas de acero, “Tramex”. Se fueron fabricando sobre la marcha en el sitio, ya que no existen planos al respecto.

Teniendo todas las tuberías y equipos listos, llega el momento de los trabajos eléctricos. Esta parte es la última que se debe de realizar, ya que en el momento que todos los trabajos están listos sólo hace falta tirar cable y se puede cambiar el recorrido fácilmente. En este apartado, una de las partes más importantes de la transformación es la instalación de sensores, tanto de temperatura, de presión y de nivel. En toda la obra se

instalaron alrededor de unos 30 sensores de los cuales cada uno tiene su propio cable que conecta con la sala de control. A estos hay que sumar todo el cableado de luminarias, equipos, válvulas tele mandadas y sistema contra incendios.

El sistema contra incendios debe de ser instalado en una zona amplia y sin estorbos, que abarquen cada uno el mayor espacio posible y sin dejar ningún lugar sin proteger.

3.2.3.3. Aislamiento de la zona del guarda calor.

El aislamiento en un barco es una cosa fundamental, tanto por el tema térmico como por el acústico. En los mamparos del guarda calor es indispensable el aislamiento, ya que como se ha comentado en apartados anteriores, los gases de escape llevan una temperatura de unos 300°, y tanto sin el aislamiento propio del escape como de los propios mamparos el calor podría traspasar y llegar a elementos inflamables o equipos a los que provocaría daños. Todo tipo de aislamiento que se instale en un barco debe tener el certificado de calidad de la sociedad de clasificación. Estos certificados señalan las características y el material del propio aislamiento, además debe de asegurar que ese material sea inflamable y retardante en caso de incendio, lo cual permita que el fuego no se extienda a través del propio aislamiento con velocidad. Además de los mamparos también se deberían aislar los refuerzos que se suelden a los propios mamparos para que no transmitan el calor. En el guarda calor se aisló también el escape de la caldera, el cual también fue modificado.

3.2.3.4. Zonas de trabajo y equipos.

Hay que diferenciar dos zonas importantes en las cuales va a recaer la mayor parte del trabajo, una es, obviamente el guarda calor, la zona de mayor importancia en este tipo de obras, y la otra es la ya mencionada sala de bombas.

Sala de bombas.

Cuando un barco entra a un astillero a realizar una transformación de este tipo lo lógico es que entre a dique al principio, ya que hay trabajos que se pueden hacer a flote y otros que son necesarios realizarlos en dique. Los dos trabajos críticos para la salida de dique de este barco son los trabajos que afecten a casco por debajo de la línea de flotación, y

esos trabajos son dos, la toma de mar y las descargas. Evidentemente hay más trabajos importantes que se deben realizar en dique, por ejemplo, poner en su sitio las scrubbers y gran parte de los escapes, pero son trabajos simultáneos a los otros dos, no interfieren en ningún momento.

- Toma de mar: Debido a que la obra es nueva se necesita realizar una toma de mar nueva. De esta toma de mar se recoge el agua que se va a usar para poner en servicio las scrubber y lavar los gases de escape. Es el punto principal de todo el ciclo. Esta toma de mar debe tener las dimensiones necesarias para poder suministrar la cantidad de agua requerida por las bombas.

La toma de mar debe de tener ánodos de sacrificio para evitar la corrosión mediante una protección catódica. Sin protección alguna contra el incrustamiento las tuberías se llenarían de organismos que provocarían tapones e impedirían el flujo de agua. Al tratarse de tuberías de acero los ánodos suelen ser de aluminio. Con ellos la corrosión se reduce de forma significativa, prolongando la vida útil de las tuberías y de los equipos conectados.

Otro de los sistemas conectados a la toma de mar es el sistema de aire, llega a la toma de mar para su limpieza.

Tras la toma de mar estaría la válvula de la toma de mar, esta separa la propia toma de mar y el filtro. Esta válvula esta telemandada de manera eléctrica, y también tiene un accionamiento manual hidráulico de emergencia. Es importantísimo que esta válvula no tenga ninguna fuga, debido a que puede haber cualquier problema en el filtro y puede necesitar mantenimiento.

- Filtro: El agua de mar contiene moluscos, organismos, basura, etc, por lo tanto, todos estos elementos podrían taponar líneas y si llegaran a bombas o a equipos podrían provocar averías bastante costosas. Para evitar que esto suceda se instalan filtros nada más salir de la toma de mar. El filtro es un cilindro de acero con una entrada y una salida y con una cesta con agujeros en su interior, la cual filtra el agua para que continúe el circuito sin impurezas ni suciedad. Al igual que con la toma de mar, el filtro también debe de tener una manera de evitar la corrosión, por lo tanto, también lleva ánodos de sacrificio. Además del venteo que se junta con el propio de la toma de mar.



Ilustración 12: Codo y válvula que conectan la toma de mar con el filtro.
Fuente: Elaboración propia.

- Bombas de impulsión de la toma de mar: Son las bombas encargadas de impulsar el agua de la toma de mar hacia las tuberías de impulsión que suben a las scrubbers. Son dos bombas, una para cada línea de impulsión a cada scrubber, que absorben el agua del colector después del filtro y lo descargan hacia dichas tuberías de GRE.

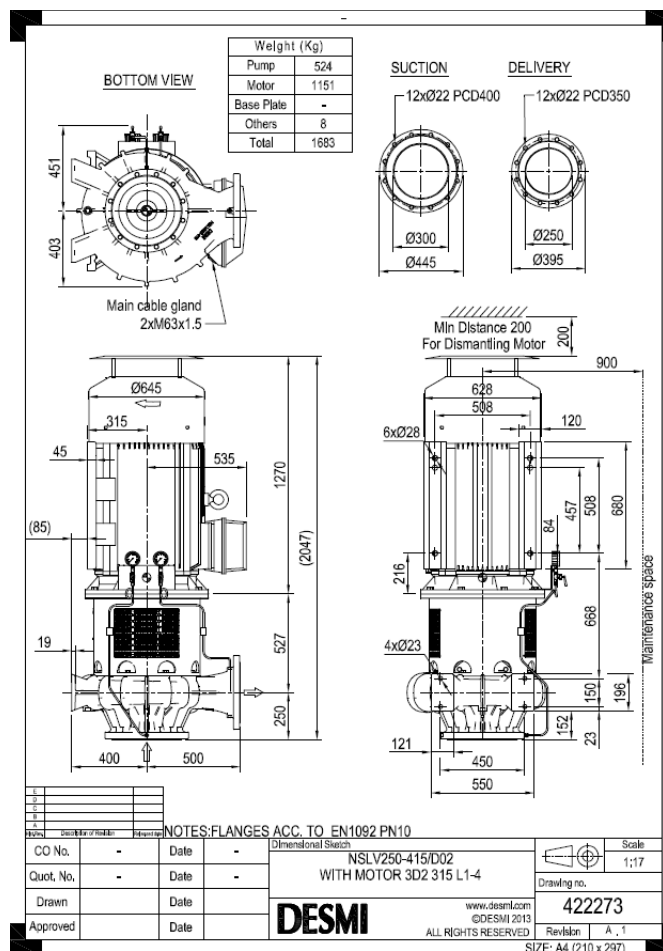


Ilustración 13: Plano de las bombas de impulsión de la toma de mar.
Fuente: Planos Manual Desmi.

Características de las bombas de la toma de mar	
Capacidad	600 m ³ /h
Presión	6,5 bar
Velocidad de la bomba	1616 rpm
Consumo energético	131,05 kW
Potencia sin sobrecarga	148,48 kW
Eficiencia	82,70%
Máxima presión de trabajo	10 bar
Presión de prueba	9,99 bar
Motor	3D2 315 L1-4 160/192kW (B3/B5)
Potencia del motor	160 kW
Fuente de alimentación	3x400 V, 50 Hz
Velocidad de motor	1490 rpm
Corriente nominal	273,40 A

Tabla 2: Características de las bombas de la toma de mar.
Fuente: Planos Manual Desmi.

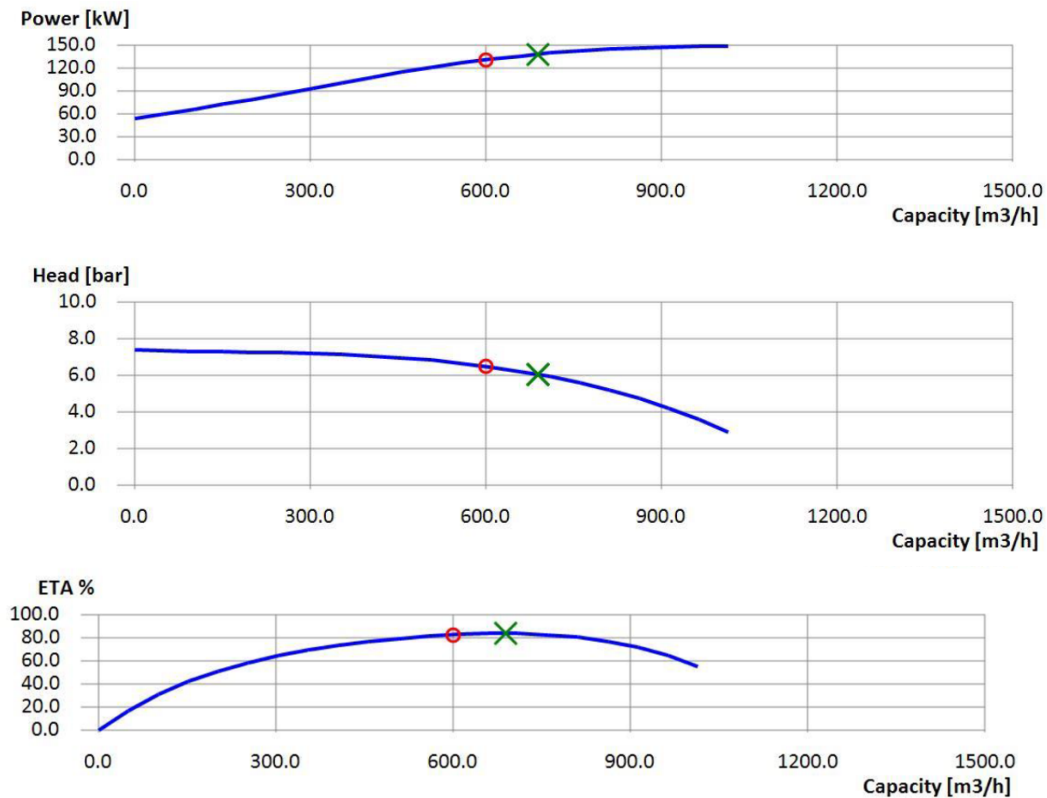


Ilustración 14: Gráficas de la potencia, presión y eficiencia de las bombas con respecto a la capacidad.
Fuente: Planos Manual Desmi.

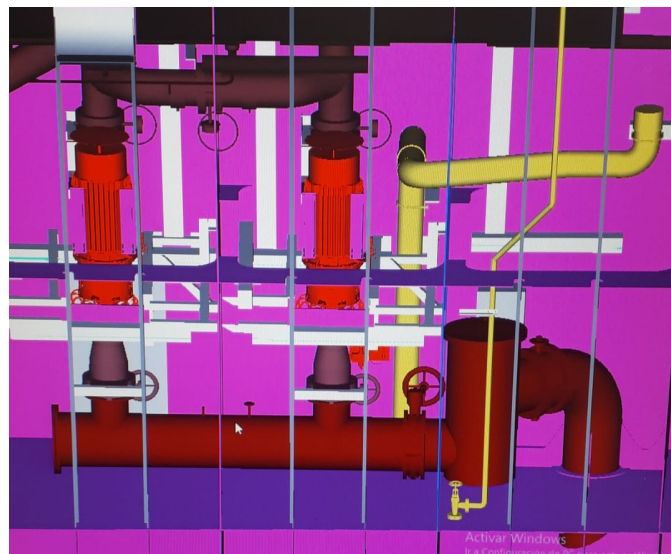


Ilustración 15: Conjunto general de la sala de bombas.
Fuente: Elaboración propia.

Guardacalor.

- Bombas booster: Son bombas del mismo tipo que las anteriores, pero de menor tamaño. Están situadas a la entrada de las scrubbers, en el guarda calor, para poder impulsar el agua hacia las entradas más altas, debido a que necesitan presión adicional.

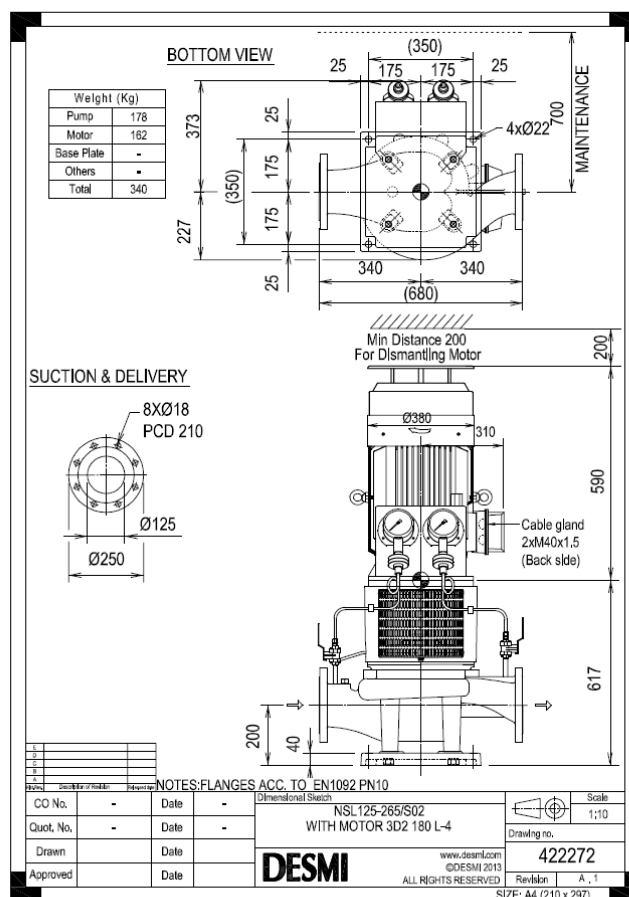


Ilustración 16: Plano de las bombas booster.

Fuente: Planos Manual Desmi.

Características de las bombas booster	
Capacidad	150 m ³ /h
Presión	3,5 bar
Velocidad de la bomba	1927 rpm
Consumo energético	18,65 kW
Potencia sin sobrecarga	22,60 kW
Eficiencia	78,30%
Máxima presión de trabajo	16 bar
Presión de prueba	5,38 bar
Motor	3D2 180 L-4 22/26,4 kW (V1)
Potencia del motor	22 kW
Fuente de alimentación	3x400 V, 50 Hz
Velocidad de motor	1475 rpm
Corriente nominal	40,30 A

Tabla 3: Características de las bombas booster.

Fuente: Planos Manual Desmi.

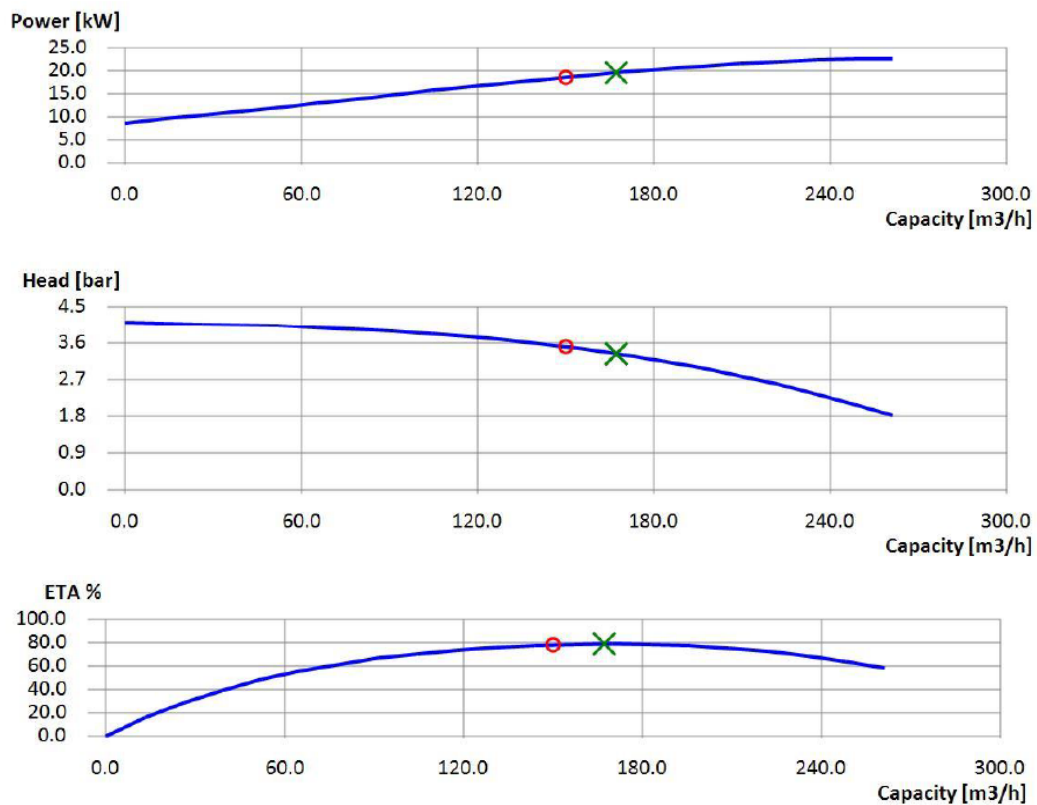


Ilustración 17: Gráficas de la potencia, presión y eficiencia de las bombas con respecto a la capacidad.
Fuente: Planos Manual Desmi.



Ilustración 18: Bombas booster antes de ser subidas a bordo.
Fuente: Planos Manual Desmi.

- Escapes: La transformación de los escapes comienza en la cubierta 5, justo en la salida de los economizadores. Al ser cuatro motores existen cuatro escapes, que llegan a cuatro economizadores. A partir de ahí comienzan las nuevas líneas de escapes. Los escapes en el guarda calor van a constar de dos partes, la propia que llega a la parte baja de la scrubber y el by-pass, que sería el escape libre. Los gases de los economizadores de popa (motores A y B) son los que escaparían por las scrubbers siempre que estén en funcionamiento. Los gases de los economizadores de proa (motores C y D) son los que tendrían dos salidas distintas, o a las scrubbers o a los by passes. Direcccionar estos gases de escape sería labor de los dampers, los cuales explicaremos a continuación.

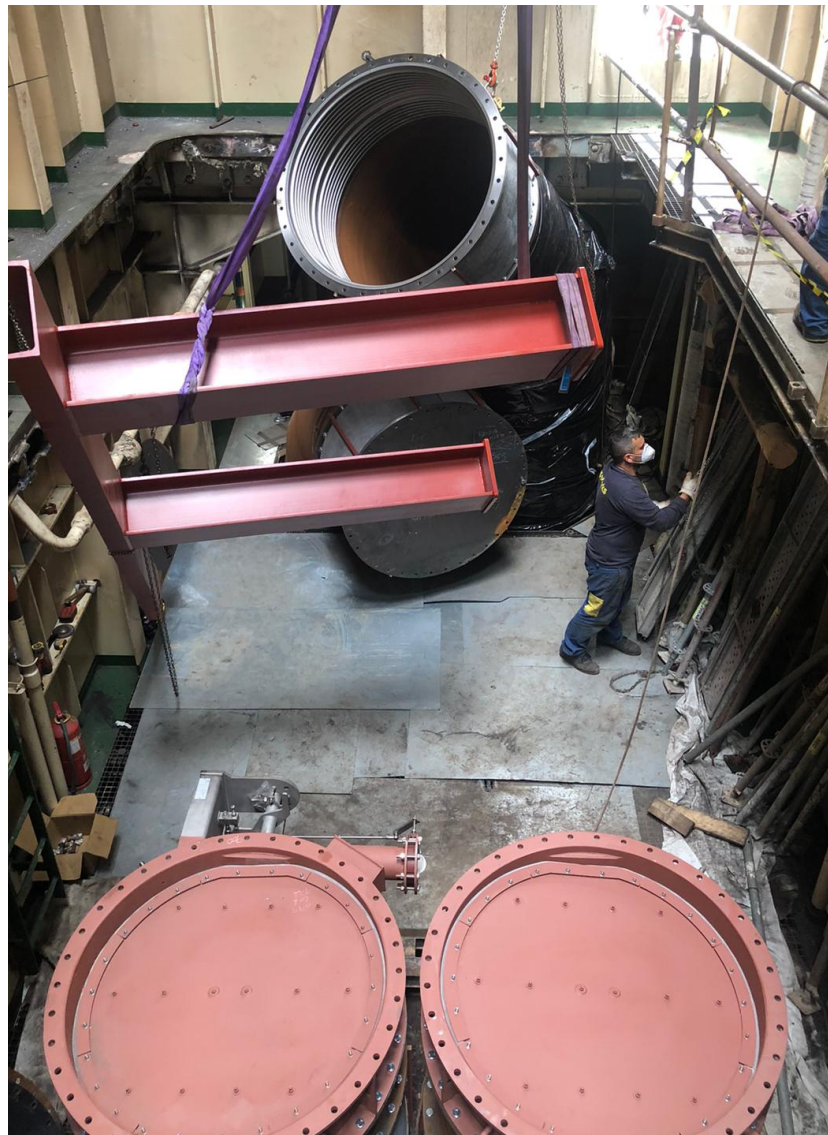


Ilustración 19: Instalación de los escapes tras los economizadores.

Fuente: Elaboración propia.

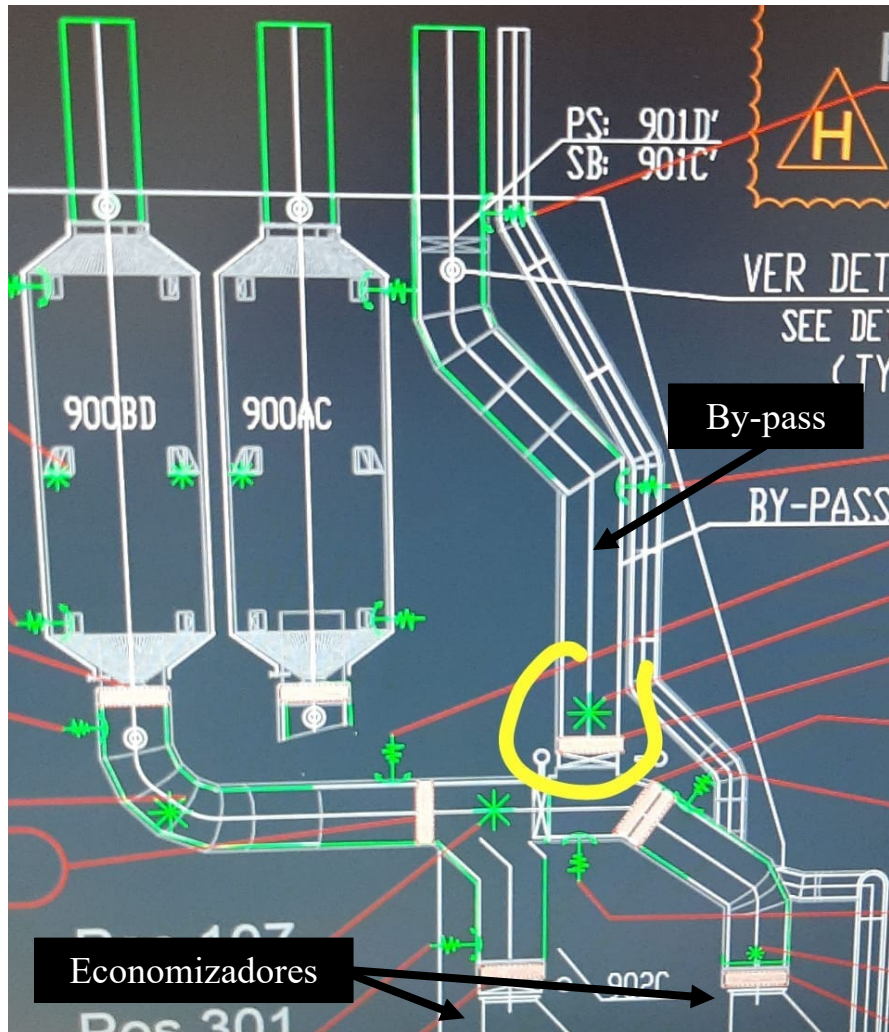


Ilustración 20: Plano de los escapes de una scrubber.
Fuente: Elaboración propia (3D del buque).

- **Dampers:** Como ya se ha introducido en el apartado anterior, los dampers son los encargados de direccionar los gases de escape de los motores. Los dampers básicamente son válvulas para escapes que son accionadas de manera neumática. Hay que destacar que existen dos tipos, los normalmente abiertos y los normalmente cerrados. Los normalmente abiertos son los cuales la lenteja está abierta y el accionamiento neumático lo que hace es cerrarla y el normalmente cerrado actúa a la inversa.

A la hora de transportarlos e instalarlos son complejos por ese motivo. Los normalmente cerrados son fáciles, porque al tener la lenteja cerrada se pueden transportar e instalar todo montado, el propio damper y el actuador. En cambio, cuando se trata de los normalmente abiertos hay que quitar el actuador para poder cerrar la lenteja y así transportarlo de manera más fácil. Cuando se monta se haría de la misma manera, cerrado, pero sin el actuador, y cuando haya que

instalar el actuador habría que abrir la lenteja e instalarlo para que pueda estar en la posición correcta.

Este tipo de válvulas tienen una condición diferente al resto de válvulas, como por ejemplo las de agua o fuel, y es que no tienen junta. Esas otras válvulas tienen juntas de goma para el sellado, pero los dampers no, debido a la temperatura que llevan los gases de escape, cualquier junta se fundiría. La pregunta sería, ¿cómo se evita el paso gases de escape y de suciedad en el momento del cerrado del damper?. Mediante sopladores.

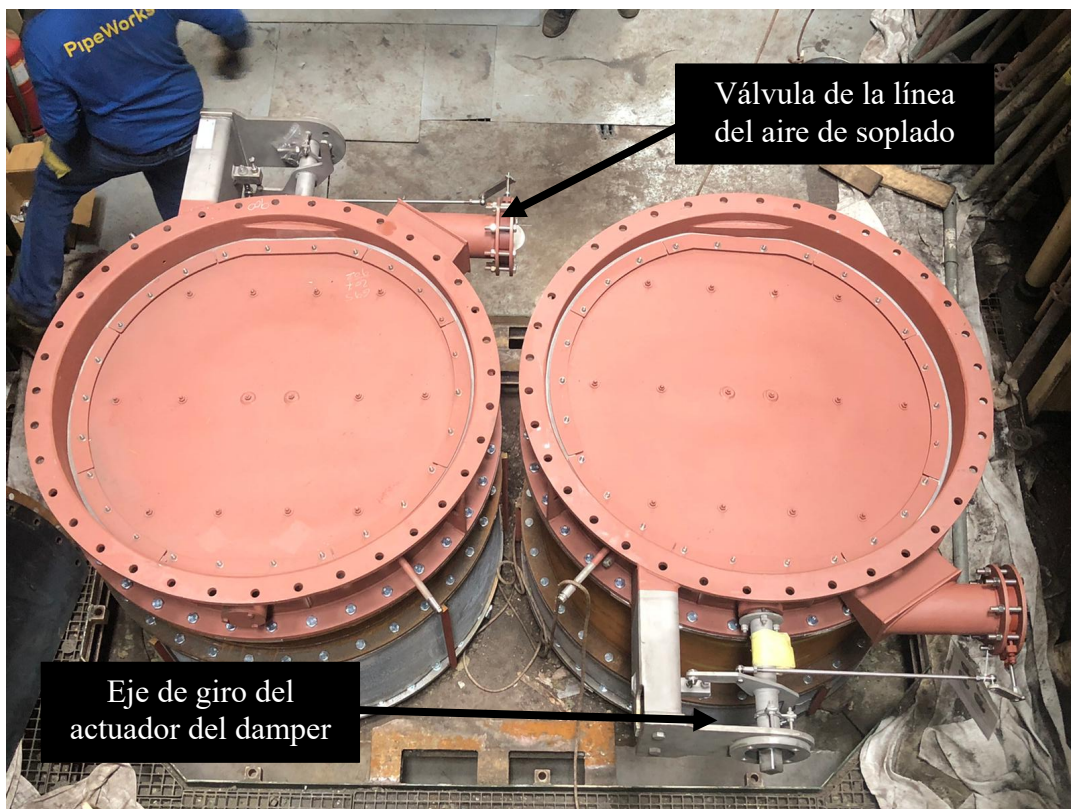


Ilustración 21: Dampers normalmente abiertos en posición cerrada sin el actuador.
Fuente: Elaboración propia.

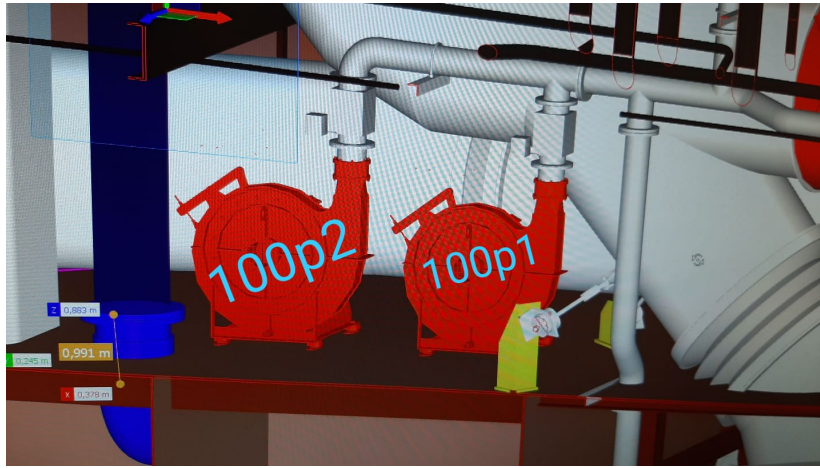


Ilustración 23: 3D de los sopladores de los dampers.
Fuente: Elaboración propia (3D del buque).

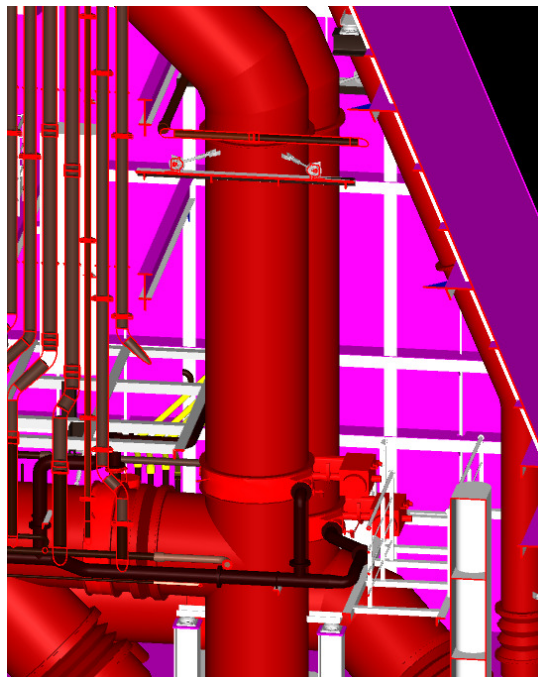


Ilustración 24: 3D de las líneas de soplado hasta los dampers.
Fuente: Elaboración propia (3D del buque).

- Torre de la scrubber: Es el lugar principal de la instalación en el cual se realiza la limpieza de los gases de escape. Existen dos partes diferenciadas en la parte baja, que son; la zona de entrada de los gases de escape y la descarga del agua de lavado. Estas dos zonas no están separadas, únicamente, dentro de la torre la entrada de los gases de escape es un cilindro y la parte de la descarga es la zona baja de la torre en forma de cono. Para que toda el agua de lavado que cae desde la parte alta no entre en la zona de gases de escape y alcance los motores principales se le instala una especie de sombrero chino. Por este mismo motivo hay que estar pendiente de la zona de descarga, ya que no se puede acumular una gran cantidad de agua, debido a que si el agua rebasa un nivel llegaría a caer

dentro de los escapes de los motores. Para ello se instalan unos sensores de nivel.

Otra de las partes importantes de la torre son las entradas de agua. Son tres diferentes y a distintas alturas. La primera y más alta es una de 50mm de diámetro, la cual sirve para la limpieza del demister.

La segunda es de 200mm y es la entrada a las propias duchas de la scrubber, con las cuales se limpian los gases de escape.

La tercera y más baja es de 125mm y sirve para el quench nuzzle.

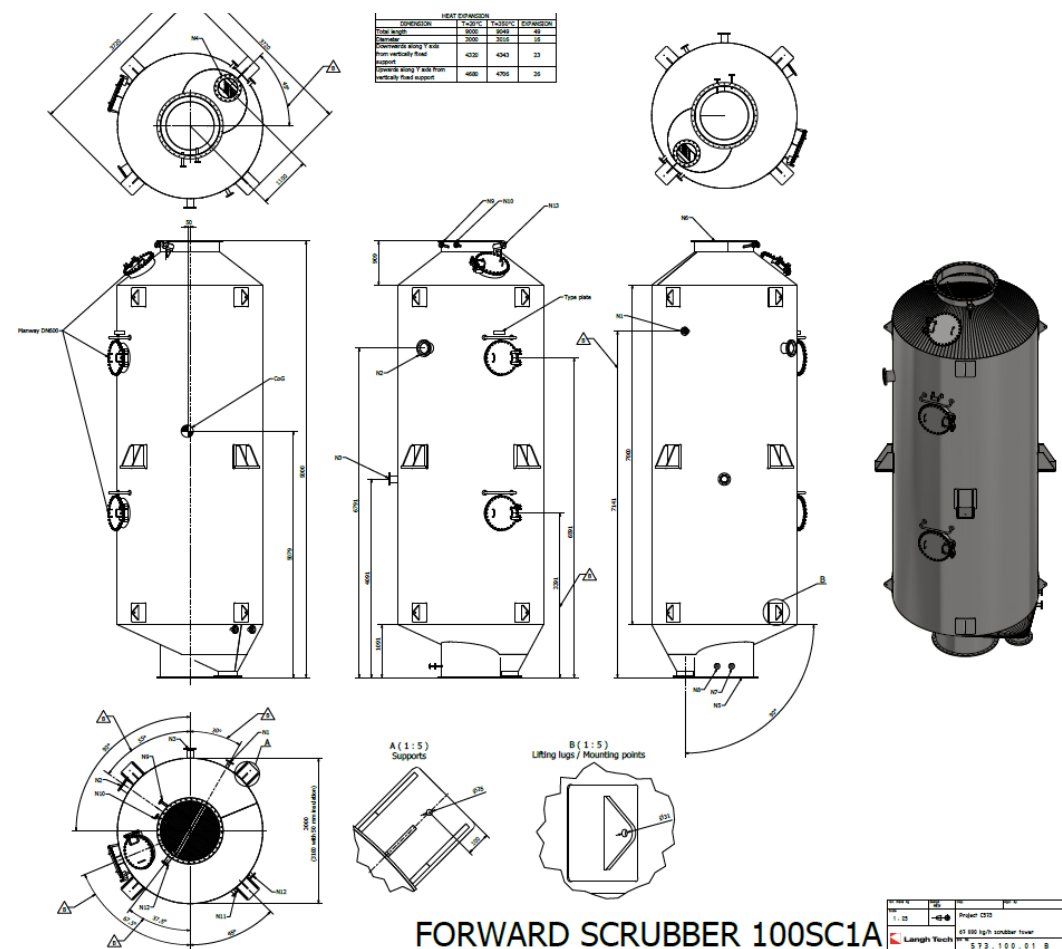


Ilustración 25: Plano de la torre de scrubber.

Fuente: Plano scrubber.

- Demister: Es un eliminador de niebla, se usa para separar el agua que ha quedado en los gases en forma de gotas finas de los propios gases de escape mediante el proceso de coalescencia. Tiene una forma de laberinto para provocar cambios de dirección y velocidad del agua produciendo de esta manera que las

gotas que quedan en los gases vayan juntando hasta que su tamaño y peso permitan por acción de la gravedad que caigan.

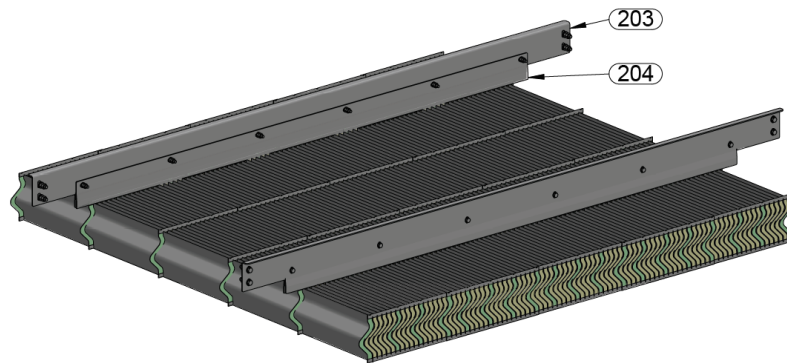


Ilustración 26: Demister.
Fuente: Elaboración propia.

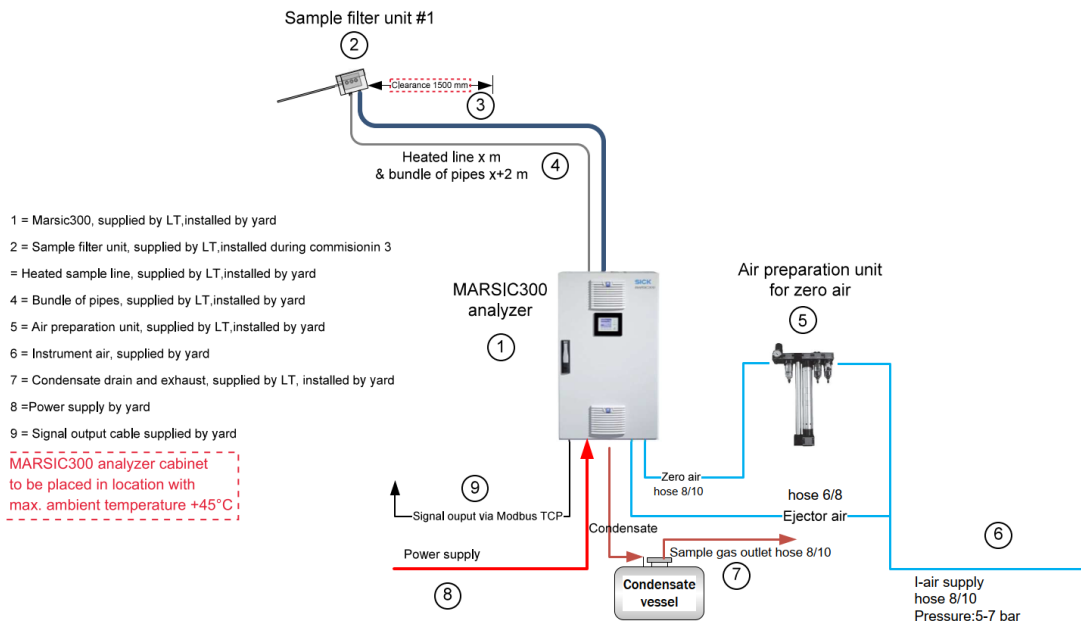
- Cems: Es el sistema de análisis de los gases de escape resultantes tras la acción de las scrubbers. Es indispensable analizar los gases de escape a la hora de descargarlos debido a que si los análisis no están entre los datos correctos se estaría incumpliendo las normativas del Anexo VI y MEPC.184 (59) en cuanto a descarga de gases a la atmósfera. En ese caso no podría seguir con las scrubbers en marcha. El Marsic 300, que es el que se ha utilizado, mide tanto el SO_x como el CO₂ y el NO_x.



Ilustración 27: Sistema de filtros del analizador de gases.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 28: Interior del analizador.
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Situaciones de trabajo de los motores.

El buque JM Entecanales tiene cuatro motores principales para su uso, pero a la hora de poder realizar la limpieza de los gases de escape hay varias situaciones de trabajo a tener en cuenta, son las que se van a describir a continuación.

Como ya se ha comentado anteriormente existen dos líneas que conectan dos motores con cada scrubber, el motor principal A y C con una scrubber y el D y B con otra. Siempre va a haber un motor en funcionamiento por scrubber, ya sean los dos de popa, los dos de proa o uno de proa y otro de proa, los que en cada momento vean más conveniente el uso.

Los motores que se usen trabajarán como máximo a un 90% de carga, debido a esto solo se usan uno por scrubber. De este modo siempre va a haber dos motores en servicio y otros dos en stand by.

Existen situaciones en las que estuvieran en servicio los cuatro motores;

Una es en caso de emergencia, cuando el buque requiera una máxima potencia para navegar a la mayor velocidad posible. En este caso la disposición de los motores sería, los dos motores de proa en by pass y los dos de popa por cada scrubber. El inconveniente de esta situación es que el buque estaría infringiendo las normativas de la OMI sobre contaminación por azufre, por lo tanto, implicaría una multa. Como ya se ha explicado únicamente sería en caso de emergencia y en periodos cortos de tiempo.

Otra situación en la que trabajarían los cuatro motores principales es en la situación en la cual ninguno de los motores por scrubber supere un 90% de carga de trabajo. En este caso los cuatro estarían trabajando en condiciones de carga por ejemplo 40% uno y 40% otro, o 40% y 50%, pero sin superar 90% de carga de forma conjunta. EL inconveniente de esta situación es que al buque no le interesa, ya que pudiendo tener solo dos motores trabajando a 90% cada uno no compensa tener los cuatro en servicio gastando horas de trabajo innecesaria en dos.

En resumen, en condiciones normales de trabajo, cada una de las scrubbers no superará el 90% de carga de trabajo, utilizando solo dos motores principales y los otros dos sin servicio.

Existiría otra posibilidad de funcionamiento más, esta sería en el caso de superar el 90%

de carga de motor por scrubber. En este caso el sistema de limpieza no limpiaría en condiciones y no se alcanzarían los parámetros de SO_x y agua.

Cabe añadir que en el caso de los cuatro motores en funcionamiento hay que tener en cuenta que cada escape tiene un sensor de presión que no puede superar los 25mBar. En ese caso se abrirían automáticamente los dampers normalmente abiertos (FO) y se cerrarían los normalmente cerrados (FC).

4. PRESUPUESTO.

4.1. Presupuesto en partidas.

Precios unitarios.

RECURSO	CANTIDAD	PRECIO
Turno día, trabajador.	1 turno	280€
Turno noche, trabajador.	1 turno	300€
Turno día, bombero.	1 turno	250€
Turno noche, bombero.	1 turno	280€
Limpiador.	1 turno	200€
Grúa.	1 hora	65€
Dique.	1 día	350€
Muelle.	1 día	200€
Maniobras.	1 maniobra	980€
Reciclaje y recogida de basuras.	1 vez	90€
Suministro de energía.	1 KW	0.18€
Comprobación de gases en tanques.	1 día	80€
Acero Naval A.	1 Kg	1.3€
Suministro e instalación aislamiento A60 60mm de espesor.	1 m ²	70€
Suministro e instalación aislamiento A60 60mm de espesor con recubrimiento de chapa metálica.	1 m ²	80€
Suministro e instalación aislamiento A60 100mm de espesor.	1 m ²	78€
Suministro e instalación aislamiento A60 100mm de espesor con recubrimiento de chapa metálica.	1 m ²	88€
Suministro de conducto de escape de acero Corten.	1 m lineal	64€
Suministro y montaje de aluminio.	1 Kg	16.70€
Suministro y montaje de tubo PE DN 110.	1 m = 1 codo = 1 casquillo electro soldable	10.95€
Suministro y montaje de tubo PE DN 160.	1 m = 1 codo = 1 casquillo electro soldable	20.40€
Suministro y montaje de tubo PE DN 225 o mayor.	1 m = 1 codo = 1 casquillo electro soldable	36.80€
Tubo DN 33,4 mm galvanizado.	1 m = 1 codo	23€

Tubo DN 60 mm galvanizado.	1 m = 1 codo	28€
Tubo DN 89 mm galvanizado.	1 m = 1 codo	32€
Tubo DN 114 mm galvanizado.	1 m = 1 codo	36€
Suministro e instalación de bandeja de cable.	1 m	18.5€
Suministro e instalación de pasamamparos eléctrico.	1 unidad	344€
Suministro e instalación de luminarias estancas.	1 unidad	235€

Presupuesto detallado:

DESCRIPCIÓN	PRECIO
SERVICIOS GENERALES DEL ASTILLERO	
Seguro.	789.990€
Registro del proyecto.	
Tasas del Puerto.	
Protecciones de equipos.	
Maniobras.	
Estadías (35D + 5F).	
Calas/líneas contraincendios.	
Grúa.	
NDT e inspección y certificados.	
Residuos.	
Coordinador de seguridad, servicio de bomberos, chequeo gas free y servicio vigilante nocturno.	
Suministro eléctrico y suministro y mantenimiento de aire comprimido, ventilación e iluminación.	
Limpiezas durante el proyecto.	
Otros servicios generales (Refrigeración, instalación/suministro de mangueras y agua salada, gases...).	
Equipo de proyecto.	
Andamios.	
Pruebas de mar (estimados 7 operarios 2 días).	
NUEVA CÁMARA DE BOMBAS	
Desguace de estructuras existentes para instalación de nueva toma de mar. Estimado 1500 kg.	
Se ha considerado la fabricación de una única nueva toma de mar en el tanque V10C PS. Se han estimado 2.500 kg de acero, en AH32.	
Fabricación y montaje de pinchazo de DN600 en toma de mar, en barra perforada, entre el filtro y la toma de mar.	
Chorro al SA 2 1/2 de la nueva toma de mar y aplicación de 5 manos de pintura.	
Fabricación y montaje de filtro para colector de toma de	

mar, DN600, en acero al carbono galvanizado. Instalación de 2 válvulas en filtro incluidas (suministro Armador).	140.375€
Suministro e instalación de nuevo colector de scrubbers de 5m en acero al carbono galvanizado en caliente en DN600 (estimado), SCH80 con 2 injertos de DN500 (estimado) que conectan el colector con cada una de las 2 bombas de impulsión de scrubbers (Suministradas por el Armador). Se incluye también la instalación de 2 válvulas DN500 suministradas por Astander.	
Fabricación y montaje de 2 polines para las nuevas bombas de aspiración, suministradas por el Armador. Instalación de las 2 bombas sobre los polines. Pintado de nuevo acero y quemones incluido.	
Instalación de 1 puerta corredera estanca, suministro de Astander.	
NUEVO CUARTO DE DESCARGAS A COSTADO ESTRIBOR	
Instalación de 1 puerta corredera estanca, suministro de Astander.	72.063€
Fabricación de 2 descargas a costado, considerado en el ítem de tubería.	
Fabricación y montaje tecele, en acero imprimado, con tramex de fibra. Considerado 22m ² .	
Fabricación y montaje de 4 polines para bombas/equipos dentro del cuarto. Instalación de los equipos sobre los polines. Pintado de acero nuevo y quemones incluido.	
INSTALACIÓN SCRUBBERS	
Descargar scrubbers y equipos de scrubbers y almacenarlos en lugar seguro.	226.413€
Desmontaje y desguace de escapes de motores principales y sus silenciosos. Desguace de soportados existentes.	
Suministro e instalación de nueva top plate, estimando 5T de acero Naval A.	
Reforzado chimeneas para instalación de scrubbers (estimadas 4T de acero Naval A).	
Suministro e instalación polín soporte scrubbers (Consideradas 2,5T de acero Naval A).	
Suministro e instalación de aislamiento para las 2 scrubbers. Se considera lana de roca de 50mm recubierta por chapa de acero galvanizado de 0,8mm de espesor.	
Montaje de todos los elementos vinculados directamente a la scrubber (conexiones, tuberías flexibles, quench, sensores...).	
Instalación de 8 soportes antivibratorios (4 uds por scrubber), suministrados por LangTech.	

Instalación scrubbers de principales (2). Transporte de scrubbers al costado del barco y colocación de estas a bordo sobre los soportes antivibratorios de compresión instalados previamente.	
Instalación de 12 soportes antivibratorios tipo tirante (3 por scrubber) incluyendo el soporte y pequeño reforzado de acero necesario para su instalación (Tirantes antivibratorios suministro del Astander).	
Abrir/cerrar cesáreas para llevar a cabo los trabajos del proyecto (estimadas 4).	
TRABAJOS DE TUBERÍA	
Suministro e instalación de tubería de PE para conexión equipos scrubber (estimado).	
Suministro e instalación de tubería de GRE (NOV FGS BONDSTRAND) para agua de alimentación y descarga de scrubbers. Estimado según 3D de ingeniería básica, tomando como referencia una única toma de mar de la que suben dos líneas de aspiración, una a cada uno de los scrubbers. Soportado de las nuevas líneas de GRE incluido. No considerada ninguna instalación correspondiente al sistema híbrido.	
Modificaciones estructurales para soportado de tubería de GRE. (Estimados 2000kg de acero Naval A).	
Suministro e instalación de pasantes para tubería de GRE, en SMO (suministro de material incluido). Considerado un total, de 8 pasantes DN300 + 6 pasantes DN400, en tubo 254 SMO SCH10 de 580mm de longitud máxima y bridas de acero 2540SMO DIN86044, con casquillo en barra perforada en acero al carbono S355JR de 300mm de longitud.	1.210.004€
Fabricación y suministro de 2 colectores de escapes de DN1200 que unen por la parte inferior al scrubber, al que llegan 2 escapes de principales DN1200 injertando a escapes existentes con una longitud aproximada de 6m, en chapa Corten de 4 y 5mm, considerando la colocación de 2 bridas por escape para una expansión. Fabricación y montaje de 2 salidas superiores rectas desde las scrubbers, en DN1200, en SS316L de 4mm de espesor.	
Suministro e instalación de 16 nuevos soportes de líneas de escapes de motores principales, considerando también la instalación de los soportes antivibratorios, suministro de Astander.	
Suministro e instalación de aislamiento de lana de roca recubierto de chapa de acero galvanizado de 0,8mm de espesor para los nuevos tubos de escape de las líneas de escape de los 4 motores principales (Estimados 152m2 de aislamiento).	
Fabricación 2 nuevas descargas babor, DN400, barra perforada (1 m cada una). Tratamiento de descargas considerado en el ítem "Otros trabajos generales".	

TRABAJOS ELÉCTRICOS	
Realización de los trabajos eléctricos incluidos en el documento "Oferta eléctrica" que se adjunta al presupuesto de la obra. Estimados 9.500 metros de cable necesarios para la instalación).	308.250€
OTROS TRABAJOS GENERALES	
Tratamiento de pintura alrededor de 3 descargas Precio por chorro al SA 2,5 y pintado con Chemflake, estimando que las 3 descargas están en el mismo área y se tratan 45m ² en total.	58.875€
Reparación de quemones y pintado de las diferentes áreas del barco afectados por los trabajos del proyecto.	

4.2. Balance final del presupuesto.

DESCRIPCIÓN	PRECIO
Servicios generales del astillero.	789.990€
Nueva cámara de bombas.	140.375€
Nuevo cuarto de descargas a costado estribor.	72.063€
Instalación scrubbers.	226.413€
Trabajos de tubería.	1.210.004€
Trabajos eléctricos.	308.250€
Otros trabajos generales.	58.875€
Descuento global.	-100.000€
Total	2.705.970€

5. CONCLUSIONES

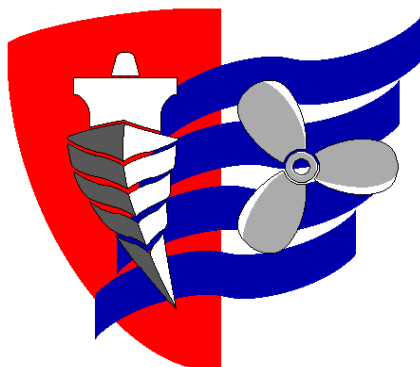
Teniendo en cuenta todo lo expuesto en este trabajo cabe destacar y tener en cuenta el gasto que supone una instalación de este tipo, que a pesar de ser elevado también va a ser necesario para reducir la contaminación y para que el buque cumpla con las normativas que se van actualizando.

Por otra parte, una instalación de scrubber de lazo abierto como esta no creo que tenga mucho margen de vida, ya que más pronto que tarde las normativas cambiarán y prohibirán también descargar azufre al mar. El lazo abierto evita contaminar la atmósfera, pero los desechos en lugar de tratarlos o reutilizarlos los deposita en el mar. En unos años, si las soluciones siguen siendo este tipo de instalaciones, deberán de ser de lazo cerrado o mixto, para evitar todo esto. De esta manera, como es lógico, el coste aumentará, debido a las necesidades de más equipos y materiales y mayor complejidad en cuanto a ingeniería, plazos...

Con una instalación de estas ya no habrá necesidad de comprar combustibles de bajo contenido en azufre o de llenado de los tanques de gas, por lo tanto, los gastos durante la vida útil del barco se abaratarán, y el gasto inicial ya daría resultado.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



BIBLIOGRAFIA

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. Trabajos universitarios.

- Núñez Fernández, Manuel (2018): Estudio de la reducción de óxidos de azufre en gases de escape. Universidad de Cantabria.
- San Alonso, Guillermo E. (2019): Planificación de la instalación de scrubber en un carga rodada. Universidad de Cantabria.

6.2. Sitios web.

- Organización Marítima Internacional,
<http://www.imo.org/ES/Paginas/Default.aspx>, [consultada en junio de 2021].
- Alfa Laval. Pure SOx, <http://www.alfalaval.com/puresox/>, [consultada en junio de 2021].
- Sistema SOx para buques, <https://rubedate.com/panasia/sistema-scr-de-nox-sistema-scrubber-sox-buques/> [consultada en junio de 2021].
- Organización Marítima Internacional, <https://www.imo.org/es/> [consultada en mayo de 2021].
- <https://www.puentedemando.com> [consultada en mayo de 2021].

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado, así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”